DIE KUPFERVERERZUNGEN DES BASALEN ZECHSTEINS IM RAHMEN DER SEDIMENTÄREN ENTWICKLUNG DES WERRA-FULDA-BECKENS

Dem Fachbereich Geowissenschaften der
Freien Universität
Berlin

vorgelegte Inauguraldissertation zur
Erlangung der Doktorwürde

von

Diplom-Geologe, M. Sc., DIC
Claus Schumacher
aus Braunschweig

1985

DIE KUPFERVERERZUNGEN DES BASALEN ZECHSTEINS IM RAHMEN DER SEDIMENTÄREN ENTWICKLUNG DES WERRA-FULDA-BECKENS

Dem Fachbereich Geowissenschaften der
Freien Universität
Berlin

vorgelegte Inauguraldissertation zur
Erlangung der Doktorwürde

von

Diplom-Geologe, M. Sc., DIC
Claus Schumacher
aus Braunschweig

1. Referat: Prof. Dr. Klaus Germann

2. Referat: Prof. Dr. Gundolf Ernst

Tag der mündlichen Prüfung: 12. Februar 1985

Gott gibt die Nüsse
aber er beißt sie nicht auf

Goethe

Zusammenfassung

In den letzten Jahren wurde durch die Bearbeitung der Kupferschieferlagertstätten in der DDR und in Polen in zunehmendem Maße die epigenetische Natur der bauwürdigen Vererzungen und der Rote Fäule-Fazies diskutiert.

Die epigenetische Rote Fäule repräsentiert eine Fazies, in der Fe^{3+} auftritt. Darauf folgen eine Cu-, Pb- und Zn-Zone. Das Auftreten der Roten Fäule und die Metallzonierungen sind entscheidende Explorationskriterien.

Seit dem Ende der sechziger Jahre fand auch in der Bundesrepublik Deutschland von Seiten des Bundes und einiger Firmen eine intensive Exploration auf Kupferschieferlagerstätten statt. Seit 1980 exploriert die Firma St. Joe Explorations GmbH in zwei Gebieten des Werra-Fulda-Beckens auf Kupfererz, in Richelsdorf und Spessart-Rhön; Daten aus diesen beiden Arbeitsgebieten bilden die Grundlage der vorliegenden Arbeit, in der versucht wird, die Metallzonierungen des basalen Zechsteins zu erfassen und die Genese der Vererzungen im Rahmen der sedimentären Entwicklung eines terrestrischen Molassebeckens zu einem evaporitischen Meeresbereich aufzuzeigen.

Das Werra-Fulda-Becken wird durch fluviatile Ablagerungen und Sabkhabildungen des Rotliegenden allmählich aufgefüllt. Es entsteht allerdings kein regionaler Ausgleich, so daß Hochgebiete über lange geologische Zeiträume hinaus bestehen bleiben.

Auf das Rotliegende folgt der Zechstein mit ausgeprägter klastischer Basis aus Sandsteinen und Konglomeraten, die als Weißliegendes bezeichnet werden und dem Werra-Zyklus zugerechnet werden. Die Gesteine des Weißliegenden sind primär grau gefärbt, und Rotfärbungen, die in ihnen auftreten, sind als Rote Fäule zu bezeichnen. Das Weißliegende setzt sich aus vorwiegend fluviatil gebildeten Sedimenten zusammen, die durch Karbonatzwischenlagen in drei Zonen (A,B,C) zu gliedern sind. Am mächtigsten sind die Sandsteine der Zone A entwickelt, die als megakreuzgeschichtete Sandsteine dem Cornberger Sandstein entsprechen. Diese Sandsteine bilden zur Zeit des Kupferschiefers Sandbarren.

Mit der Bildung von strukturlosen Sandsteinen (Kollapsstrukturen) läßt sich der rasche Einzug des Zechsteinmeeres in die Rotliegendtröge nachweisen. In weniger als 10 Jahren wird die maximale Ausbreitung des Zechsteinmeeres erreicht. Ein basales Transgressionskonglomerat des Zechsteins wird nicht gebildet. Durch die rapide Ausbreitung eines marinen Ablagerungsraumes sind die kontinentalen Einflüsse auf Randbereiche des Kupferschiefermeeres beschränkt worden. Es entstehen charakteristische Randfaziestypen des Kupferschiefers, die z.T. unter oxidierenden Bedingungen gebildet wurden und der normalen euxinischen Schwarzschieferfazies des Kupferschiefers gegenüberstehen. Die Gesteine der Randfazies sind sehr reich an Karbonat und/oder klastischem Detritus und außerdem von großer Mächtigkeit (über 4 m). Rutschungen, die tektonische Bewegungen andeuten, sind im Kupferschiefer weit verbreitet.

Der Zechsteinkalk ist in Thüringischer Fazies und in der Spessartfazies entwickelt. Das auffälligste Unterscheidungsmerkmal beider Fazien ist die hohe Mächtigkeit des Zechsteinkalkes in Spessartfaziesentwicklung, die über 100 m erreichen kann. Dies wird auf eine kontinuierliche Einsenkung des Spessartschelfs zurückgeführt. Besonders im Spessartgebiet treten in großem Umfang Rotfärbungen auf, die aber als syngenetische Bildungen gedeutet werden müssen.

Die tektonischen Bewegungen führten bereits im Perm zur Entstehung von saxonischen Richtungen. Diese Richtungen werden als das Ergebnis von konjugierten Scherbrüchen angesehen. Die vorherrschenden Bruchrichtungen sind NE-SW und NW-SE orientiert. Diese beiden Trends führen zu einer netzartigen Untergliederung des Werra-Fulda-Beckens in Schwellen und Becken, die bereits im Unterperm deutlich hervortreten und bis in die jüngste geologische Vergangenheit hinein nachzuweisen sind. Der Rhönblock erweist sich als ein herzynes und nicht, wie bisher angenommen, als ein varistisch streichendes Element.

Zur Erfassung der Buntmetallverteilungen im basalen Zechstein wird der Metallgehalt eines Profilabschnittes von 2 m berechnet, in dem der höchste Kupferwert auftritt. Aus dem Anteil von Cu, Pb und Zn am Gesamtmetallgehalt in diesem Bereich ergibt sich die Metallzonierung des basalen Zechsteins,

die eine Anordnung der Metalle nach sinkender Elektronegativität aufweist. Die Zone des Auftretens von Fe^{3+} wird als Rote Fäule-Zone bezeichnet, die der Kupferzone vorgelagert ist.

Regional gesehen tritt die Rote Fäule-Zone nur an den Rändern von Rotliegendtrögen auf und ist wiederum bevorzugt an Sandbarren des Weißliegenden, wie im Gebiet von Richelsdorf, gebunden. Nur in der Kupferzone, in unmittelbarer Nachbarschaft zur Rote Fäule-Zone, treten wirtschaftliche Kupfervererzungen auf. In diesem Fall können Gehalte von über 2% Cu/2 m auftreten. Die Mittelwerte der Kupferverteilung im basalen Zechstein liegen bei 400 ppm in Richelsdorf und bei 100 ppm im Gebiet Spessart-Rhön. Die höchsten Mittelwerte von Pb (800 ppm) und Zn (900 ppm) werden ebenfalls im Gebiet von Richelsdorf nachgewiesen; im Gebiet Spessart-Rhön liegen sie für Zn und Pb zwischen 100 und 200 ppm. Die Zinkgehalte weisen im Vergleich zu normalen Schwarzschiefern ähnliche Gehalte auf, Blei und vor allem Kupfer sind dagegen deutlich erhöht. Das Wertmetall Silber ist sehr gut mit Kupfer korreliert; in beiden Gebieten sind die Mittelwerte aber nicht größer als 10 ppm. Die höchsten Gehalte an Silber wurden mit über 70 ppm/2 m am Westrand des Rhönblocks nachgewiesen. Hier tritt Kupfer mit Silber und Arsen zusammen als Tennantit auf, eine Entwicklung, die eine wichtige Phase in der Genese der Kupferlagerstätten darstellt.

Neben Cu, Pb, Zn, Ag und Fe als wichtige Wert- und Zonenelemente wurde die Konzentration weiterer Elemente bestimmt, die als Faziesindikatoren oder Edelmetalle für die Vererzungen des basalen Zechsteins wesentlich sind, wie z.B. Au, Pt, Pd, U, P, Sn, Sb, Co, Ni, Mo, Cr und V.

Die Genese der Kupfervererzungen im Werra-Fulda-Becken wird als ein dreiphasiger Vorgang interpretiert. In der ersten Phase kommt es zu einer Vorkonzentration der Buntmetalle im Bereich der Rotliegendbecken innerhalb des varistischen Orogens. Die Fixierung dieser Metalle geschieht synsedimentär bei der Ablagerung des Kupferschiefers. In der zweiten Phase erfolgt eine hydrothermale Überprägung der Gesteine des basalen Zechsteins einschließlich des Zechsteinkalkes, mit

Cu-As-Ag-reichen Lösungen, die als Hauptmineral Tennantit bilden. In der dritten Phase kommt es zur Bildung der epigenetischen Kupferlagerstätten, die mit der Rote Fäule-Fazies assoziiert sind. Durch evaporitische Prozesse, die am Ende der Zechsteinkalksedimentation einsetzen und zum Werra - Salinar überleiten, erfolgt eine Zufuhr salzhaltiger Wässer im zentralen Beckenbereich, die in den Rotliegendbecken aus den dort vorhandenen Gesteinen Buntmetalle lösen. Durch erhöhte Aufheizung im Grundgebirge an den Rändern der Rotliegendtröge steigen die Lösungen wieder auf und erreichen den basalen Zechstein. Diese aufsteigenden, oxidierenden Wässer lösen die bereits synsedimentär und hydrothermal gebildeten Minerale der Phase 1 und 2 wieder auf, wo dann unter noch oxidierenden Bedingungen die Rote Fäule-Fazies gebildet wird. Durch das Migrieren der Lösungen in reduzierenden Gesteinen kommt es zur Ausfällung der Buntmetalle in Abhängigkeit von dem sinkenden Redoxpotential.

Durch den Bezug zur Roten Fäule und dem schichtdurchdringenden Auftreten der Kupfervererzungen können wirtschaftliche Kupferanreicherungen von unwirtschaftlichen, synsedimentären Bildungen getrennt werden. Die Zonierung der Metalle liefert dagegen das wichtigste Explorationskriterium für das Aufsuchen der im Werra-Fulda-Becken verdeckt liegenden Vererzungen.

Summary

During the past years the epigenetic nature of the economical Kupferschiefer ore deposits and the Rote Fäule has often been discussed by the works in Poland and the GDR.

The epigenetical Rote Fäule represents a facies where Fe^{3+} occurs. This is followed by a Cu-, Pb- and Zn-zone. The occurrence of the Rote Fäule and the metal zonations are decisive criteria for the exploration.

Since the end of the 1960's an extensive exploration on Kupferschiefer ore deposits was carried out by federal government institutions as well as some private companies in the Federal Republic of Germany. In two areas of the Werra-Fulda-Becken, Richelsdorf and Spessart-Rhön, St. Joe Explorations GmbH has been exploring on copper ores. Data from these two areas were used as base for this thesis with the purpose of locating the metal zonations of the basal Zechstein and demonstrating the ore genesis as part of the sedimentary development of a terrestical molasse basin towards evaporitic environment.

The Werra-Fulda-Becken was gradually filled by fluviatile and sabkha-type deposits of the Rotliegend. No regional levelling was achieved and therefore exposed areas remained as such over long geological periods.

The Rotliegend is succeeded by the significant clastical base of the Zechstein. The conglomerates and sandstones are named Weissliegend and they are included in the Werra cycle. The Weissliegend rocks are primarily gray-coloured and red colours occurring within the Weissliegend can be identified as Rote Fäule. The Weissliegend sediments mainly comprise of fluviatile sediments which are stratified by one carbonate interlayer into the three zones A, B and C. The thickest layers are the sandstones which form the zone A. They are mega-crosslaminated and they correspond with the Cornberger Sandstein. During the time of the Kupferschiefer sedimentation these sandstones formed sandbars.

By the formation of structureless sandstones (collaps features) the rapid ingression of the Zechstein sea into the Rotliegend basins can be demonstrated. Within less than 10

years the maximal extension of the Zechstein sea was achieved. A basal transgression conglomerate of the marine Zechstein had not been formed. The rapid development of marine environments restricted the continental influences to the marginal areas of the sea. Here, caracteristical marginal facies types of the Kupferschiefer developed. They were partly formed under oxidizing conditions, thus being in contrast to the normal reducing black shale facies of the euxinic Kupferschiefer. The rocks formed under the marginal environment are rich in clastic detritus an d/or carbonate. Furthermore their thickness is greater (over 4 m). Slumping structures which indicate tectonical movements are widely distributed in the Kupferschiefer.

The Zechsteinkalk is developed in the facies types of the Thüringische Fazies and the Spessartfazies. The great thickness of the Spessart facies type of Zechsteinkalk is the most distinctive mark of the Zechsteinkalk in the Thüringische facies. The thickness of the Zechsteinkalk in Spessart facies can be more than 100 m. This is explained by a continious subsidence of the Spessart shelf. In the Spessart facies mainly red beds were formed under syngenetical conditions.

The tectonical movements caused the saxonian trends to a time as early as the Permian. These trends are interpreted as a result of conjugated sher faults. Dominating trends are oriented NE-SW and NW-SE. These two trends divide the Werra-Fulda-Becken into a net-like system of paleohighs and deeps. These are remarkably developed during the Lower Permian already and they can still be traced back to very recent geological times. Contrary to earlier presumptions, the Rhön-block turned out to be a hercynian- rather than variscan-oriented structural element.

In order to be able to explain the basemetal distribution of the rocks of the basal Zechstein, the metal content is calculated over a two meter intervall, which yields the best copper value. The portion of Cu, Pb and Zn over this calculated intervall results in a metal zonation of the basal Zechstein which is ordered by decreasing Eh-values. The zone where Fe^{3+} occurs is named Rote Fäule which preceeds the copper zone.

Generally the Rote Fäule occurs only above the edges of Rotliegend troughs and it is preferably connected with sandbars of the Weissliegend like in the Richelsdorf area. Only the part of the copper zone which is adjacent to the Rote Fäule boundary provides economical ore grades. Here the values can be above 2% Cu/2 m. The mean values of copper distribution of the basal Zechstein are 400 ppm in Richelsdorf and 100 ppm in the Spessart-Rhön area. The highest mean values of Pb (800 ppm) and Zn (900 ppm) were also found in Richelsdorf; in the Spessart-Rhön area they are between 100 and 200 ppm for Pb and Zn. The zinc values are comparable to the values of normal black shales whereas Pb and especially Cu are remarkably enriched. The economical element Ag is very well correlated with copper. The mean values of both areas are below 10 ppm. The highest concentrations of Ag are on the edge of the Rhönbloc with more than 70 ppm/2 m. Here, Cu occurs together with Ag and As as tennantite, a development which represents an important phase of the genesis of the copper deposits. Besides the zone elements Cu, Pb, Zn and Ag which are of great economical importance, other elements were analyzed with respect to their economical importance and their position within the zonation of the basal Zechstein. These are mainly Au, Pt, Pd, U, Sn, P, Sb, Co, Ni, Mo, Cr and V.

The evolution of the ore deposits of the Werra-Fulda-Becken is interpreted as a three phase process. During phase 1 a preconcentration of metal developed within the Rotliegend troughs within the variscan orogen. The syngenetical fixation of the metals coincided with the sedimentation of the Kupferschiefer. During phase 2 hydrothermal impregnation of the rocks of the basal Zechstein affected the sequence up to the Zechsteinkalk. The fluids were rich in Cu- Ag and As and thus the mineral tennantite was formed. During phase 3 the epigenetical copper deposits were formed which are related to the Rote Fäule facies. Evaporitic processes increased at the end of the Zechsteinkalksedimentation in a significant way, thus establishing the environment of the strong evaporitic salt basin.

In this way, highly salinar brines were introduced into the central parts of the Rotliegend basins. Here, metals were dissolved and the solutions were carried to the edges of the Rotliegend troughs where increased heat in the basement rocks caused an ascending of the metal brines. These ascending and oxidizing fluids dissolved the metalcompounds already formed in phase 1 and 2 and they caused the oxidizing conditions under which the epigenetical Rote Fäule was able to develop. The fluids continued to migrate into the rocks of the reducing facies and thus metals were precipitated again however, in order of decreasing redox potential.

The economical copper concentrations can be distinguished from uneconomical, synsedimentary formations by the relationship of the Rote Fäule to the discordant occurence of the ore bodies. The zoning of the metals yields the best criteria for the covered copper deposits in the Werra-Fulda-Becken.

Resumé

Ces dernieres années, à partir des travaux d'explorations effectués sur les gisements de cuivre en R.D.A et en Pologne et dans l'opinion croissante d'un mode de dépôt épigénétique, reste en suspens la question de la minéralisation et le facies du Rote Fäule.

L'épigénétique Rote Fäule est un facies marqué par la présence du Fe^{3+} accompagné d'une zonalité Cu, Pb et Zn. L'existence du Rote Fäule et la zonalité des éléments métallique sont la base des critères d'exploration.

Depuis la fin des années soixante le gouvernement fédéral et quelques entreprises privées effectuent des travaux d'explorations sur les gisements de cuivre en R.F.A et depuis 1980 la firme St Joe Explorations GmbH explore les dépôts cuprifères dans deux régions de la cuvette du Werra-Fulda: les régions Richelsdorf et Spessart-Rhön. Les résultats des travaux effectués dans ces deux régions constituent les données de cette thèse.

Il a paru interessant de faire cet exposé qui rassemble à côté de la zonalité des éléments métalliques du Zechstein inférieur la genèse de minéralisation des sédiments d'une cuvette de Molasses par rapport à zone cotiére évaporitique. La cuvette Werra-Fulda est constituée de dépôts fluviatiles et du Rotliegendes. Toutfois il n'èxiste aucune homogénéité régionale ainsi les points les plus élevés existerons pendant un très long temps géologique.

Le Rotliegend est recouvert par le Zechstein qui est constitué d'éléments clastiques: grès et Konglomerats appelés Weissliegendes appartenant au cyclothème de Werra. Les roches du Weissliegendes sont primaires de teinte grise et rouge connus sous le nom de Rote Fäule.

Le Weissliegend est constitué de dépôts fluviatiles, selon les intercalation carbonatées on distingue trois zones: A, B et C. La zone A et la plus puissante connue sous le nom de grès de Cornberg. Ces grès constituent la serie "Sandbarren" de dépôts cuprifères.

La structure désordonnée des grès demontre le rayon d'action de la mer du Zechstein pendant la formation du Rotliegendes. En moins de dix ans la propagation maximale de la mer du

Zechstein sera atteinte. Une transgression des Konglomerates du Zechstein n'aura pas lieu. Grâce à la rapide répartition du dépôt marin l'influence continentale sur le littoral de la mer des schistes cuprifères a été limitée. Il existe des facies caracteristiques des schistes cuprifères qui en partie se sont formés dans des conditions d'oxydation. Les roches adjacentes au facies sont très riches en carbon ou en éléments clastiques ou détritiques dont la puissance atteinte plus de 4 m. Les glissements, les mouvements téctoniques sont fréquents dans les schistes cuprifères.

Le calcaire zechsteinien est tres répandu dans les facies de Thuringe et de Spessart. La difference frappante entre les deux facies est la puissance des couches des calcaire du Zechstein du facies du Spessart qui peut atteindre plus de 100 m. Ceci provient de l'affaissement coninuel du seuil du Spessart. L'existence de la teinte rouge est particulière dans la région de Spessart, cette teinte rouge a un caractère syngénétique.

Les mouvements téctoniques du Permien sont manqués par les directions saxoniennes. Ces directions sont le résultat de l'effet conjugé des failles. Les failles dominantes sont de direction NE-SW et de NW-SE. Ces deux failles conditionnent la subdivision du bassin du Werra-Fulda en seuils et cuvette dont l'existence date du Permien et s'est prolongée jusque dans les temps géologiques les plus recents.

Le bloc de Rhön est du type hersinien et non varisque comme on l'a prétendu. Pour determiner la variation des mineraux métalliques du Zechstein inférieur on a determiné la teneur du métal sur un profil de deux mètres de haut la ou la teneur de cuivre métal est la plus élevée. Selon l'importance du Cu, Pb et du Zn dans ce profil, on observe une zonalité verticale de ces éléments accompagnée d'un rapport Eh-pH decroissant du milieu. La zone du Fe^{3+} se correlée à la zone du Rote Fäule.

Sur le plan régional la zone du Rote Fäule se limite à la zone du Rotliegendes qui selon la cas de Richelsdorf apparait comme "Sandbarren" du Weissliegendes. C'est uniquement dans la zone cuprifère et dans les formations adjacentes au Rote Fäule qu'on note une minéralisation à potentiel industrielle dans des cas precis des teneurs de plus de 2%/2 m ont été notées. Ainsi dans le Zechstein inférieur la répartition de la teneur

du cuivre métal est de 400 ppm à Richelsdorf et de 100 ppm dans la région de Spessart-Rhön. À noter aussi que des teneurs de Pb (800 ppm) et de Zn (900 ppm) ont été enregistrées à Richelsdorf; quant au Spessart-Rhön ces teneurs pour le Pb et le Zn varient entre 100 et 200 ppm. La teneur en Zn est la même que celles des schistes cuprifères tant dit que la teneur en Pb et en cuivre métal croit remarquablement.

Dans les deux régions la teneur de l'argent métal est bonne et se correle à la teneur du cuivre métal; elle est inférieure ou egale à 10 ppm.

La plus haute teneur en argent métal plus de 70 ppm/2 m a été enregistrée près du Rhön-bloc. Ici le cuivre métal est accompagné de l'argent métal et du As sous form de Tennantit ce qui est une phase très importante de la genèse des gisements de cuivre.

A côté des éléments métalliques majeurs Cu, Pb, Zn , Ag et Fe d'autres mineraux métalliques ont été déterminés et parmi eux des éléments ou des métaux précieux qui constituent les critères de mineralisation du Zechstein inférieur; ce sont Au, Pt, Pd, U, P, Sn, Sb, Co, Ni, Mo, Cr et V.

La répartition des dépôts cuprifères sur une aussi vaste étendue date sans aucun doute de l'époque varisque. L'époque varisque est accompagnée par une phase métallogénétique qui a donné plusieurs gisements polymétalliques.

Dans le bassin du Werra-Fulda on distingue trois phase dans la genèse des dépôts cuprifères. La première phase datant de l'époque varisque orogénétique a été dominée par une concentration precoc des mineraux métalliques ce qui justifie la nature synsedimentaire du gisement. Pendant la deuxième phase, eut lieu le phénomène hydrothermal qui grâce a l'action des solutions Cu-As-Ag agira sur les roches du Zechstein inférieur et sur les calcaires du Zechstein d'ou l'origin du Tennantit. La troisième phase se caracterise par la nature epigénétique du gisement de cuivre; elle correle au facies du Rote Fäule.A la fin de la sedimentation zechsteinienne des calcaires, un phénomène évaporitique salin entraina l'infiltration des eaux salées dans le bassin du Rotliegendes provoquant ainsi la dissolution des mineraux métalliques des roches. Sous l'action des hautes températures du socle ancien adjacent au Rotliegendes, les solutions subséquentes

s'infiltrerent dans le Zechstein inférieur. Cette montée des solutions oxygénées de la première et de la deuxième phase à de nouveau fait dissoudre les mineraux synsedimentaires et hydrothermales déja existantes, et grâce aux conditions d'oxydation, entraina la formation du facies du Rote Fäule. C'est sous l'effet migratoire des solutions dans un milieu réducteur que se sont déposer les mineraux métalliques tout en dependant du rapport Eh-pH du milieu.

La présence du Rote Fäule et la disposition des couches cuprifères permettent de faire une distinction entre les dépôts a potentiel industriel et les dépôts synsedimentaires a potentiel non industriel.

La zonalité des éléments métalliques est le principal critère d'exploration du bassin du Werra-Fulda.

DANKSAGUNG

Zunächst möchte ich Herrn V. Spieth, Geschäftsführer der Firma St. Joe Explorations GmbH für die Erlaubnis danken, Daten aus dem Projekt "Kupferschiefer" verwenden zu können, ohne die die vorliegende Arbeit nicht hätte ermöglicht werden können.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Germann für seine Bereitschaft, die Betreuung der Arbeit zu übernehmen. Er hat mich durch zahlreiche Anregungen und konstruktive Kritik hilfreich unterstützt. Ebenso möchte ich an dieser Stelle Herrn Prof. Ernst für die Übernahme des Coreferats und der damit verbundenen Betreuung dieser Arbeit danken.

Für kontinuierliche Diskussionsbeiträge, die zur Klärung mancher Probleme beitrugen, bedanke ich mich bei meinen Kollegen aus dem Kupferschieferteam der Firma St. Joe Explorations GmbH, Frau E. Kaidies und Herrn F.P. Schmidt.

Dankbar für ihre tatkräftige Unterstützung bin ich auch allen Beteiligten, die mit der Abfassung der Arbeit bemüht waren. Hier möchte ich vor allem Herrn N. Janz und Herrn Ch. Bartolosch nennen, die einen Großteil der Entwürfe umzeichneten, sowie Frau M. Schnaar für die Anfertigung des Manuskripts.

Dankend erwähnen möchte ich ebenfalls alle Geowissenschaftler, die sich mit den Problemen der Geologie des Perms befaßten und mit denen es möglich war, dieses Problem zu erörtern; vor allem die Herren Dr. Rydzewski und S. Oszczepalski (Warschau), Herrn Prof. Friedrich (Aachen), Prof. Kowalczyk (Frankfurt), Prof. Schröder und Prof. Füchtbauer (Bochum), Herrn Dr. Paul (Göttingen), Dr. Zimdars (Hannover), sowie die Herren Prof. Gunzert (Goslar) und Dr. Kulick (Wiesbaden).

Für die Durchführung mikroskopischer Sedimentanalysen danke ich Frau Ch. Knebel (Marburg) und Herrn T. Hähnel (Frankfurt), sowie den Herren H.J. Kluge und B. Schürmann für die Mithilfe bei der Interpretation und Darstellung statistischer Daten.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	Einleitung	1
1.1.	Problemstellung	1
1.2.	Methodik	6
1.3.	Regionaler Überblick	8
2.	Lithologische und stratigraphische Gliederung des Perms	9
2.1.	Allgemeine Übersicht	9
2.2.	Rotliegendes	11
2.2.1.	Unterrotliegendes	11
2.2.2.	Oberrotliegendes	12
2.2.2.1.	Fluviatile Fazies	13
2.2.2.2.	Sabkha-Fazies	15
2.2.2.3.	Äolische Sedimente	18
2.3.	Zechstein	19
2.3.1.	Weißliegendes	19
2.3.1.1.	Zone C (Fluviatiler Basalsandstein, Porphyrkonglomerat)	21
2.3.1.2.	Zone B (Karbonatsandstein)	28
2.3.1.3.	Zone A (Fluviatiler Hauptsandstein)	30
2.3.1.4.	Bezug zur Mineralisation	36
2.3.2.	Kupferschiefer	37
2.3.2.1.	Beckenfazies des Kupferschiefers (feinlaminierter Typ)	38
2.3.2.2.	Randfaziestypen des Kupferschiefers	41
2.3.2.2.1.	Spessartfazies (Karbonattyp)	41
2.3.2.2.2.	Verzahnungsfazies (Sandtyp)	45
2.3.2.2.3.	Depressionsfazies (Kompakter Typ)	47
2.3.2.2.4.	Slumpingfazies	47
2.3.3.	Zechsteinkalk	48
2.3.3.1.	Thüringer Fazies	49
2.3.3.2.	Spessart-Fazies	51
2.3.3.3.	Rothorizonte im Zechsteinkalk	53
3.	Paläogeographische Entwicklung	55
3.1.	Tektonisch bedingte Becken- und Schwellenkonfigurationen	55

Seite

3.2. Paläogeographische Entwicklung vom Rotliegenden bis zur Basis des Werra-Anydrits.....59
3.2.1. Rotliegendes.....59
3.2.2. Weißliegendes.....60
3.2.3. Kupferschiefer.....63
3.2.4. Zechsteinkalk.....65

4. Metallisation des basalen Zechsteins.....67
4.1. Überblick.....67
4.2. Methodik.....69
4.3. Metallzonierungen des basalen Zechsteins.....70
4.3.1. Definition der Metallzonen.....70
4.3.2. Räumliche Verteilung der Metallzonen im Werra-Fulda-Becken.....71
4.3.3. Die Rote Fäule-Zone.....72
4.3.3.1. Erscheinungsformen der Roten Fäule.....75
4.3.3.2. Regionale Verbreitung der Roten Fäule.....76
4.3.3.3. Auftreten der Roten Fäule im Profil.....77
4.3.3.4. Elementverteilung der Roten Fäule.....79
4.4. Die Kupferzone.....81
4.4.1. Verbreitung der Kupferzone.....81
4.4.2. Interne Gliederung der Kupferzone.....83
4.4.3. Metallverteilung in der Kupferzone.....84
4.4.4. Schlußfolgerung.....97
4.5. Die Blei-Zink-Zone.....99
4.6. Spurenelemente.....101
4.6.1. Cobalt und Nickel.....102
4.6.2. Chrom und Vanadium.....104
4.6.3. Eisen, organischer Kohlenstoff und Schwefel.....110
4.6.4. Arsen.....112
4.6.5. Molybdän.....113
4.6.6. Strontium.....114
4.6.7. Uran.....114
4.6.8. Zinn.....114
4.6.9. Barium.....115
4.6.10. Antimon.....115
4.6.11. Mangan.....116
4.6.12. Silber.....116
4.6.13. Phosphor.....117
4.6.14. Gold und Platinmetalle.....118

Seite

5. Genese.....120
5.1. Herkunft der Metalle.....120
5.2. Transport und Ablagerung der Metalle.....121
5.2.1. Sedimentäre Anreicherung der Buntmetalle (Phase 1).....123
5.2.2. Epigenetisch-hydrothermale Anreicherung der Buntmetalle (Phase 2).....126
5.2.3. Epigenetisch-diagenetische Anreicherung der Buntmetalle (Rote Fäule-Typ; Phase 3).....127
5.2.4. Sabkha-Modell zur Erklärung der "Rote Fäule"-Prozesse.....129

6. Schlußfolgerung.....131

7. Literaturverzeichnis.....133

Anhang

Tafeln
Analysendaten
Lebenslauf

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Durch die Erschließung einer der größten Kupferlagerstätten der Welt in dem polnischen Bergbaurevier Lubin (Abb. 1) wurde seit dem Ende der 50iger Jahre bewiesen, daß neben dem historisch gewachsenen Kupferschieferbergbau in Richelsdorf (BRD), Mansfeld-Sangershausen (DDR), sowie Konrad-Lena (Polen) ein unter modernen Gesichtspunkten geführter Bergbau auf Kupferschiefervererzungen möglich ist.

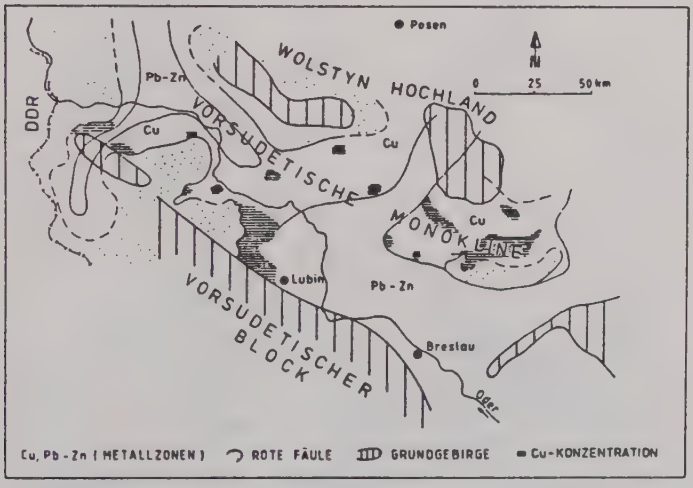


Abb. 1: Verbreitung der "Roten Fäule" und der Kupfervererzung in der Vorsudetischen Monokline (LEIFELD et al. 1983)
Fig. 1: Distribution of the "Rote Fäule" and the copper ores in the Foresudetic Monocline (LEIFELD et al. 1983)

Aus diesem Anlass wurde im Rahmen des Bundesbohrprogrammes (LEIFELD & KULICK 1981) und von Seiten einiger Firmen auch in der BRD auf Kupferschieferlagerstätten im basalen Zechstein exploriert. Die Firma St. Joe Explorations GmbH hat im Rahmen

dieser Untersuchungen eine große Anzahl von Tiefbohrungen in Hessen und Bayern niedergebracht, die auf zwei Zielgebiete im Werra-Fulda-Becken gerichtet sind:
Richelsdorf und Spessart-Rhön (Abb. 2).

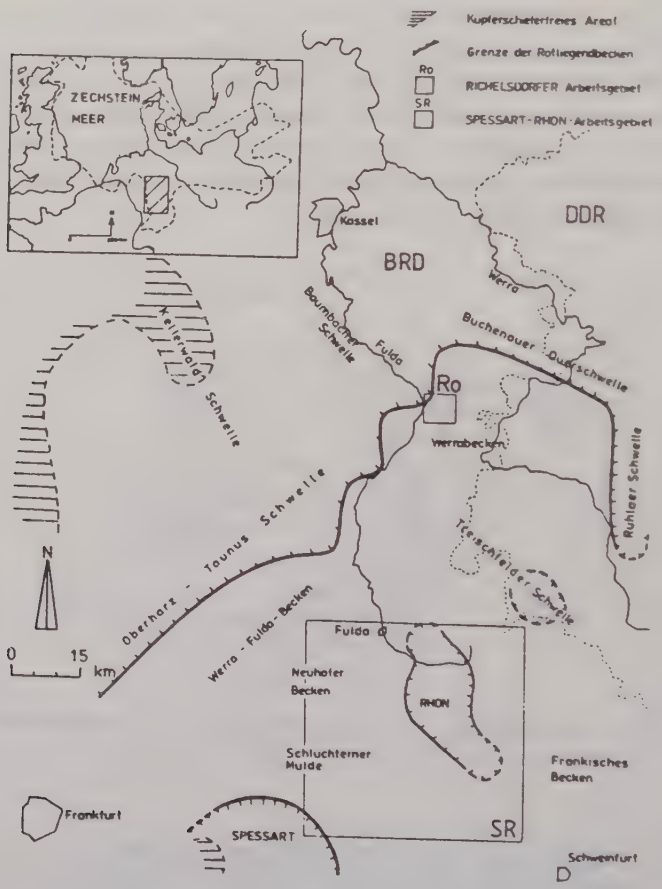
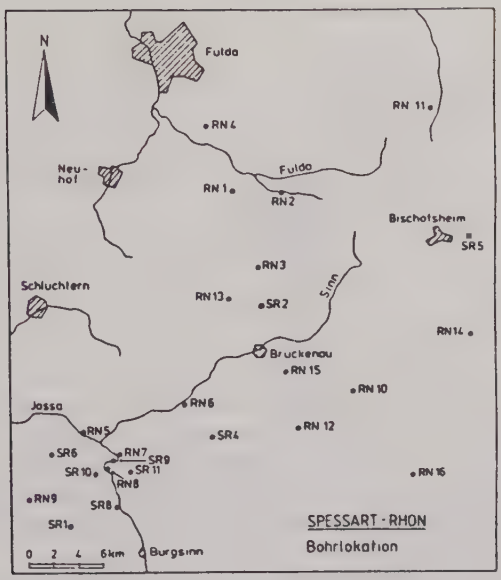


Abb.2a: Lage des Werra-Fulda-Beckens im südwestlichen Teil des mitteleuropäischen Zechsteinmeeres, sowie Lokation der Arbeitsgebiete Richelsdorf und Spessart-Rhön
Fig.2a: Position of the Werra-Fulda-Becken in the southwestern part of the middle European Zechstein-sea, including the location of the areas Richelsdorf and Spessart-Rhön



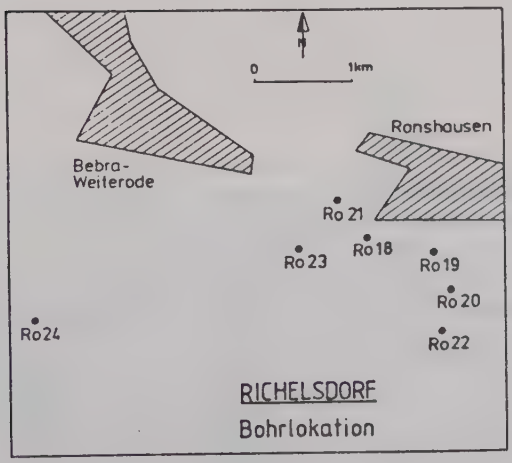


Abb.2b: Lokationen der bearbeiteten Bohrungen innerhalb der Arbeitsgebiete Richelsdorf und Spessart-Rhön
Fig.2b: Location of the drills in the areas Richelsdorf and Spessart-Rhön which were studied

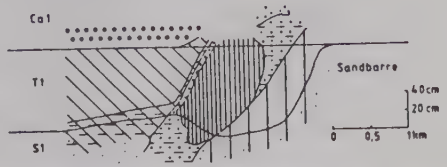
Die Ergebnisse, die von diesen Bohrungen gewonnen wurden, bilden die Grundlage der vorliegenden Arbeit. Zusätzlich wurden - soweit möglich - Bohrprotokolle des Reichsbohrprogrammes berücksichtigt. Die Auswertung der vorhandenen Informationen über die Lagerstätten in der DDR und in Polen ergab gemeinsame geologische Kriterien für bauwürdige Vererzungen, deren Gültigkeit für den Bereich des Werra-Fulda-Beckens zu überprüfen war:

- Sämtliche bauwürdigen Vererzungen liegen innerhalb des basalen Zechsteins am Rande von Rotliegendtrögen im Grenzbereich zu rotliegendfreien Grundgebirgsarealen. Die Erzlagerstätten sind an eine geochemische Grenze innerhalb des basalen Zechsteins gebunden, die zwischen einer oxidierten ("Rote Fäule") und reduzierten Fazies verläuft. Diese "Rote Fäule" und die an deren Rand liegenden Vererzungen sind epigenetischer Natur (RENTZSCH 1974). Diese Grenze kann sowohl im Weißliegenden als auch im Kupferschiefer und im Zechsteinkalk ausgebildet sein (Abb. 3). Die geographische und stratigraphische Verbreitung dieser Fazien und der daran gebundenen Buntmetallzonen war im Werra-Fulda-Becken nachzuweisen.
- Die Verbreitung der erzführenden Gesteine ist an bestimmte Positionen innerhalb der permischen Becken gebunden, deren Entwicklung auf tektonische Bewegungen zurückzuführen ist. Die Klärung der tektonischen Aktivitäten bei der Gestaltung der Ablagerungsräume des Oberrotliegenden und des basalen Zechsteins ist deshalb die Voraussetzung für die Interpretation der Paläogeographie.

  Durch die Erfassung der paläogeographischen Gegebenheiten soll versucht werden, primäre Faziesunterschiede zu erkennen und sie so von epigenetischen Bildungen zu unterscheiden.

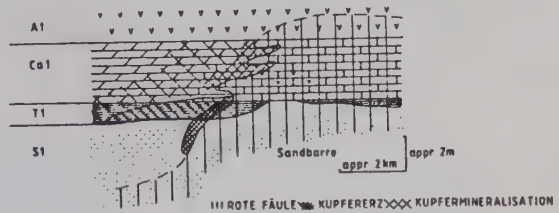
  Als Fazit der regionalen Entwicklung des sedimentären Ablagerungsraumes an der Wende Unter-/Oberperm und der Metallisation des basalen Zechsteins wird angestrebt, eine genetische Erklärung der Kupfervererzungen zu geben.

  Durch Herrn F.P. Schmidt wird im Rahmen einer Dissertation an der RWTH Aachen die Genese der Metall- und Mineralzonierungen durch detaillierte mineralogische und geochemische Bearbeitungen an ausgewählten Bohrprofilen noch eingehender untersucht.

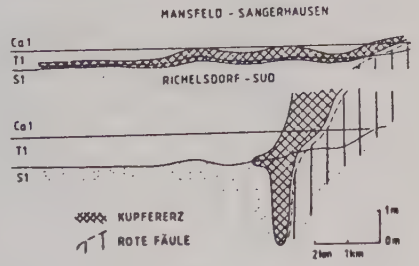


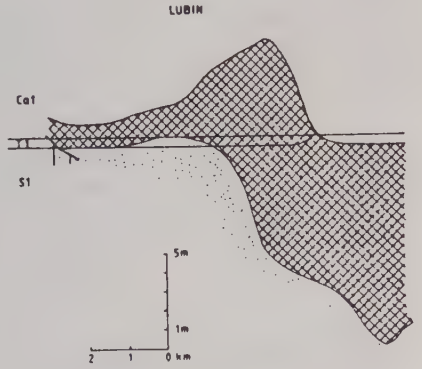
a. MINERALPARAGENESE EINER KUPFERVERERZUNG VOM TYP "ROTE FÄULE"

||| HÄMATIT ||| CHALKOSIT ⁘ BORNIT KUPFERKIES BLEIGLANZ ZINKBLENDE



b. SCHEMATISCHES QUERPROFIL EINER KUPFERLAGERSTÄTTE AM RANDE DER ROTEN FÄULE





C. KUPFERVERERZUNGSTYPEN DES BASALEN ZECHSTEINS

Abb. 3

Mineralparagenesen und Lagerstättentypen des basalen Zechsteins, die mit Roter Faule zusammen auftreten
(nach RENTZSCH (1974) z.T. aus MARANCZYK (1972) und RENTZSCH und KNITZSCHKE (1968)

Fig 3 Associations of minerals and types of ore deposits connected to Rote Fäule in the basal Zechstein

1.2. Methodik

Die Untersuchungen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, erfolgten an Bohrkernen, die aus den Tiefbohrungen der Firma St. Joe Explorations GmbH stammten.

Die Bohrungen wurden im Buntsandstein angesetzt und erst nach Erreichen des Rotliegenden, bzw. des varistischen Grundgebirges eingestellt. Die Schichten des Zechsteins wurden nach dem von KÄDING (1978) gegebenem Gliederungsschema stratigraphisch eingestuft (Tab. 1).

Eine eingehende Kernaufnahme wurde an den Kernmärschen aus dem Rotliegenden, Weißliegenden, Kupferschiefer und dem Zechsteinkalk vorgenommen. Die Bohrkerne wurden halbiert, wobei eine Hälfte für die sedimentologische Begutachtung vorbehalten blieb, während die zweite Hälfte für Analysen und mikroskopische Bearbeitungen aufbereitet wurde. Ein Kernviertel wurde im mineralisierten Bereich vollständig zur geochemischen Beprobung, das andere Kernviertel für die Erzmineralbestimmung verwandt. Die sedimentologische Kernaufnahme wurde makroskopisch am angefeuchteten Kernstück vorgenommen. Methodisch wurde von der nach LÜTZNER et al. (1974) vorgeschlagenen tabellarischen Kernaufnahme nach Stoffbestand, Gefüge und Masseneigenschaften vorgegangen.

Korngrößenansprachen wurden bei feinklastischen Gesteinen mit Hilfe einer Vergleichsskala unter dem Binokular vorgenommen. Zur Überprüfung wurden einige mikroskopische Vergleiche im Dünnschliff durchgeführt. Die Karbonatbestimmung im Dünnschliff erfolgte durch Anfärbung mit Alizarin S.

Tonmineralbestimmungen wurden mit Röntgendiffraktometermessungen vorgenommen.

Die geochemische Bearbeitung der Proben erfolgte durch die Firma ROBERTSON RESEARCH Int. Ltd. in Llandudno (Nort Wales). Beprobt wurden durchgehende Kernviertel, wobei die Länge der Kernviertel im Durchschnitt bei ca. 1/2 m liegt. Gelegentlich, zum Beispiel im vererzten Bereich wurde nach litholigschen Gegebenheiten der Probenabstand erheblich verringert.

Das Kernmaterial wurde vollständig in einem Backenbrecher zerkleinert, geteilt und mit einer Scheibenschwingmühle aufgemahlen. Die Aufschlüsse sowie die chemischen Analysen erfolgten nach klassischen geochemischen Methoden, vornehmlich mit dem AAS (ROBERTSON RESEARCH 1984).

RICHTER-BERNBURG 1955			Fulda-Kaligebiet			Werra-Kaligebiet					
			m			m					
			22 - 30	Bröckelschiefer-Folge	auB	25 - 30	Bröckelschiefer-Folge	auB	e	Buntsandstein	
e	Bröckelschiefer	aut	3 - 4	Friesland-Ton Friesland-Sandstein	T6-T6r S6	4 - 4,5	Friesland-Ton Friesland-Sandstein	T6-T6r S6	Z6	Friesland-Serie	
			2,5 - 4	Ohre-Ton Ohre-Sandstein	T5-T5r S5	3,5 - 4	Ohre-Ton Ohre-Sandstein	T5-T5r S5	Z5	Ohre-Serie	
Z4	Grenzanhydrit	A4r	2 - 3 0,7 - 1,8	Oberer Aller-Ton Aller-Anhydrit (Pegmatitanhydrit)	T4r A4	3 - 3,5 0,7 - 1,1	Oberer Aller-Ton Aller-Anhydrit (Pegmatitanhydrit)	T4r A4	Z4	Aller-Serie	
			1 - 1,5 1 - 1,5	Unterer Aller-Ton Aller-Sandstein	T4 S4	1 - 1,5 1 - 1,5	Unterer Aller-Ton Aller-Sandstein	T4 S4			
	Obere Zechsteinletten	Z3-4t									
Z3	Plattendolomit	Ca3	3 - 5 1,5 - 4 5 - 8	Oberer Leine-Ton Leine-Anhydrit (Hauptanhydrit) Leine-Karbonat (Plattendolomit)	T3r A3 Ca3	3 - 5 5 - 40	Oberer Leine-Ton Leine-Karbonat (Plattendolomit)	T3r Ca3	Z3	Leine-Serie	
			1 - 2	Unterer Leine-Ton Leine-Sandstein	T3 S3	2 - 3	Unterer Leine-Ton Leine-Sandstein	T3 S3			
	Untere Zechsteinletten	Z2-3t									
Z2			15 - 35	Staßfurt-Ton	T2-T2r	25 - 30 0 - 0,6 0 - 4 0 - 2 0 - 1,1	Oberer Staßfurt-Ton Oberer Staßfurt-Anhydrit Staßfurt-Steinsalz Unterer Staßfurt-Anhydrit (Basalanhydrit) Staßfurt-Karbonat (Hauptdolomit)	T2r A2r Na2 A2 Ca2	Z2	Staßfurt-Serie	
	Anhydrit des Zwischensalinars	T2Aß				0 - 2	Oberer Werra-Anhydrit	A1rß			
	Steinsalz des Zwischensalinars	T2Na				0 - 15	Oberstes Werra-Steinsalz	Na1r			
	Anhydrit des Zwischensalinars	T2Aα	3 - 7	Oberer Werra-Anhydrit	A1r	3 - 7	Oberer Werra-Anhydrit	A1rα			
	Braunroter Salston	T2	8 - 12	Oberer Werra-Ton	T1r	8 - 10	Oberer Werra-Ton	T1r			
Z1	Oberes Werra-Steinsalz	Na1z	70	Oberes Werra-Steinsalz	Na1z	90 - 150	Oberes Werra-Steinsalz	Na1z			
	Kalisalz Flöz "Hessen"	K1H	2 - 3	Kalisalz Hessen	K1H	2 - 3	Kalisalz Hessen	K1H			
	Mittleres Werra-Steinsalz	Na1ß	35 - 55	Mittleres Werra-Steinsalz	Na1ß	50 - 60	Mittleres Werra-Steinsalz	Na1ß	Z1	Werra-Serie	
	Kalisalz Flöz "Thüringen"	K1Th	2 - 3	Kalisalz Thüringen	K1Th	2 - 10	Kalisalz Thüringen	K1Th			
	Unteres Werra-Steinsalz	Na1α	60 - 100	Unteres Werra-Steinsalz	Na1α	80 - 110	Unteres Werra-Steinsalz	Na1α			
	Unterer Werra-Anhydrit	A1	3	Unterer Werra-Anhydrit	A1	3 - 25	Unterer Werra-Anhydrit	A1			
	Anhydritknotenschiefer	CaA1	5 - 8	Anhydritknotenschiefer	CaA1	6 - 9	Anhydritknotenschiefer	CaA1			
	Zechsteinkalk	Ca1	6 - 20	Werra-Karbonat (Zechsteinkalk)	Ca1	6 - 15	Werra-Karbonat (Zechsteinkalk)	Ca1			
	Kupferschiefer	T1	0,2 - 0,5	Unterer Werra-Ton (Kupferschiefer)	T1	0,3 - 0,5	Unterer Werra-Ton (Kupferschiefer)	T1			
	Zechsteinkonglomerat	Z1C	0 - 4	Werra-Konglomerat (Zechsteinkonglomerat)	C1	0 - 3	Werra-Konglomerat (Zechsteinkonglomerat)	C1			
re	Cornberger Sandstein	roC	0 - 20	Cornberger Sandstein	roC	0 - 20	Cornberger Sandstein	roC	r	Rotliegendes	

Tab. 1: Gliederung des Zechsteins im Werra-Fulda-Becken (KÄDING 1978)

Tab. 1: Stratigraphy of the Zechstein in the Werra-Fulda-Becken (KÄDING 1978)

1.3. Regionaler Überblick

Für die Exploration auf eine Kupferlagerstätte in der BRD wurden zwei Arbeitsgebiete ausgewählt, die Trogränder des Oberrotliegenden überdecken (Abb. 2).

Das Gebiet Richelsdorf liegt in der Umgebung der Stadt Bebra und erstreckt sich von der Fulda bis zur Grenze der DDR. Das Gebiet Spessart-Rhön liegt beiderseits der hessisch-bayerischen Landesgrenze und erstreckt sich von der DDR - Grenze im Osten bis zum Gebiet von Schlüchtern im Westen, sowie von Fulda im Norden bis Bad Kissingen im Süden.

Beide Gebiete liegen im Sinne von CARLÉ (1955) im Bereich der Südwestdeutschen Großscholle auf dem hessischen Schild. Der hessische Schild ist ein flach aufgewölbtes Hochgebiet, das an der Oberfläche durch die weite Verbreitung von Gesteinen des Buntsandsteins gekennzeichnet ist (LAEMMLEN 1975). Sonstige mesozoische Ablagerungen gehören zum Muschelkalk bzw. Keuper und sind als Grabenfüllung oder als Erosionsrelikte unter Vulkanitkuppen erhalten.

Das Arbeitsgebiet Richelsdorf liegt im Bereich des Richelsdorfer Schildes, der dem Thüringer-Wald-Horst im Nordwesten vorgelagert ist (LAEMMLEN 1970). Das südliche Arbeitsgebiet Spessart-Rhön liegt im Bereich des Rhön-Schildes und der westlich anschließenden Schlüchterner Mulde (EHRENBERG & HICKETHIER 1971).

Bereits von HUMMEL (1929) wurde nachgewiesen, daß diesen Strukturelementen eine alt angelegte, weitspannige herzynisch ausgerichtete Bewegung zugrunde liegt, die langgestreckte Mulden und Sättel erzeugte. Die ursprüngliche Anlage dieser Strukturen ist vermutlich permisch (LAEMMLEN 1975, SCHRÖDER 1976). Es erfolgte danach ein mehrmaliges Wiederaufleben zu späteren Zeitpunkten. Die wichtigsten permischen Strukturen sind NE-SW streichende Schwellen- und Grabenzüge (TRUSHEIM 1964) wie die Oberharz-Taunus-Schwelle, das Werra-Fulda-Becken und die Spessart-Rhön-Schwelle mit dem südöstlich anschließenden Fränkischen Becken (Abb. 2a).

Quer dazu verlaufend sind eine Reihe von herzynisch streichenden Schwellen zu lokalisieren (LEIFELD & KULICK 1981). Im Norden begrenzt die Querschwelle von Buchenau das Werra-Fulda-Becken. Eine weitere Einengung erfährt das Werra-Fulda-Becken durch die Baumbacher Schwelle, die im Arbeitsbebiet Richelsdorf von der Oberharz-Taunus-Schwelle ausgehend in das Werra-Fulda-Becken hineinreicht.

Die von KÄDING (1978) beschriebene Treischfelder Tiefenschwelle folgt als nächste Struktur im Südwesten. Noch weiter im Süden erstreckt sich die Kellerwald-Schwelle in ihrer Verlängerung, vermutlich bis in das Gebiet der unteren Fulda reichend (LEIFELD & KULICK 1981). Südwestlich von Fulda liegt das Neuhofer Becken, an das die Schlüchterner Mulde im Süden grenzt, die wiederum das Neuhofer Becken mit dem Fränkischen Becken verbindet (Abb. 2).

Im Arbeitsgebiet Spessart-Rhön steht Kupferschiefer nicht an (Abb. 4), sondern nur im Richelsdorfer Gebiet, wo er in mehreren Betrieben bergmännisch gewonnen wurde. Aktiver Bergbau geht dort zur Zeit nicht mehr um; allerdings ist ein großer Teil der geologischen Daten des Bergbaus sowie zahlreicher Explorationsbohrungen zugänglich (KRUSCH 1919, KAUTZSCH 1942, GUNZERT 1953, MESSER 1955, RENTZSCH 1964).

Der Kenntnisstand über den basalen Zechstein im übrigen Beckenbereich ist gering, da nur wenige Tiefbohrungen, die auf Erdöl bzw. Erdgas niedergebracht wurden, den Kupferschiefer erreichten. Die meisten Wasser- und Kalisalzbohrungen erreichten den basalen Zechstein nicht. Außerdem wurden die meisten dieser Bohrungen vor mehreren Jahrzehnten abgeteuft und sind in Hinsicht auf die Kupferexploration ungenügend bearbeitet worden. Zusammenfassende regionale Darstellungen geben LAEMMLEN (1963, 1967, 1970, 1975), TRUSHEIM (1964) und SCHÄFER (1969).

2. Lithologische und stratigraphische Gliederung des Perms

2.1. Allgemeine Übersicht

In den Gesteinen des Perms sind neben den im Rotliegenden vorherrschenden roten auch graue Sedimente verbreitet, die in Vererzungsnähe allerdings durch epigenetische Vorgänge aufoxidiert und damit sekundär rotgefärbt sein können (RENTZSCH 1974). Zur Klärung der Mineralisation des basalen Zechsteins ist es deshalb notwendig, die räumliche Verteilung sowie die stratigraphischen Grenzen syngenetisch graugefärbter Gesteine festzustellen, um so eine sekundäre Rotfärbung und damit Oxidation zu erkennen.

Primär rotgefärbt ist die überwiegende Menge der Rotliegend-

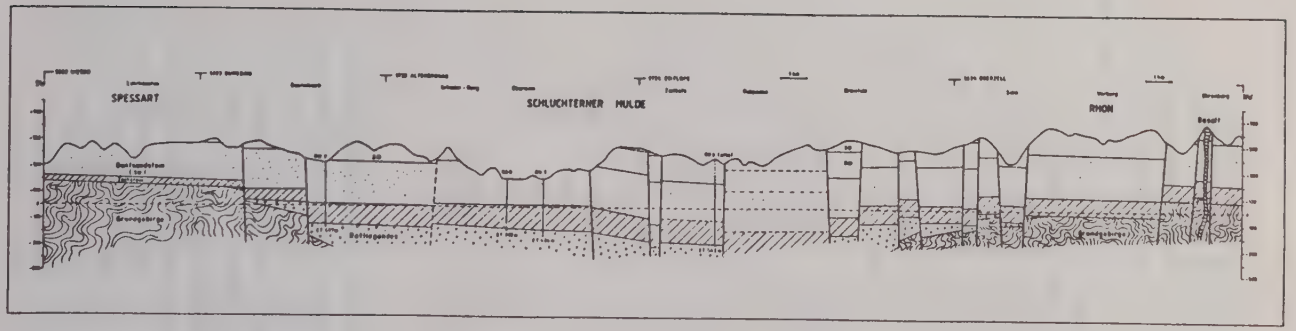


Abb. 4: Geologisches Querprofil der Spessart-Rhön-Schwelle
Fig. 4: Geological cross section of the Spessart-Rhön-Schwelle

sedimente. Die Gesteine des basalen Zechsteins, wie der Zechsteinkalk und der Kupferschiefer sind dagegen graugefärbt.

Problematisch ist die stratigraphische Zuordnung der zwischen dem Rotliegenden und dem Kupferschiefer auftretenden Konglomerate und Sandsteine. Ein weiteres Problem liegt in der faziellen Verknüpfung beider Gesteinstypen. Diese Gesteinsfolge wurde in der vorliegenden Arbeit ohne Rücksicht auf die lithologische Ausbildung als Weißliegendes bezeichnet und es wird versucht, auf der Grundlage einer Interpretation des Ablagerungsraumes zur Zeit des Weißliegenden eine stratigraphische Zuordnung dieser Gesteine zum Zechstein zu begründen. Daneben wird angestrebt, die mit eigenen lithostratigraphischen Bezeichnungen wie "Weißliegendes", "Grauliegendes", "Zechsteinkonglomerat", "Cornberger Sandstein" etc. belegten Gesteinseinheiten als Faziesdifferenzierungen des Weißliegenden zu interpretieren.

Der Name PERM wurde 1841 von dem englischen Geologen R.J. MURCHISON eingeführt, der die Eigenständigkeit der Gesteinsfolgen zwischen Karbon und Trias im russischen Gouvernement Perm im Uralvorland erkannte. In Hinsicht auf die in Deutschland schon damals gebräuchliche Zweiteilung altersgleicher Bildungen in "Rotliegendes" und "Zechstein" versuchte 1859 der Franzose MARCOU die Bezeichnung "Dyas" durchzusetzen, was aber nicht gelang. Diese alten Bergmannsbezeichnungen begründen sich auf einer rein lithologischen Untergliederung der Sedimente, da ein allgemeiner Mangel an Leitfossilien in den zum Teil nichtmarinen Bildungen herrscht. Für überregionale Untergliederungen und Abgrenzungen mußte deshalb auf Gebiete mit hochmariner Entwicklung zurückgegriffen werden. Heute ist in Europa eine Untergliederung des Perms in Unter- und Oberperm üblich, wobei sich die stratigraphische Grenze mit der lithofaziellen zwischen dem kontinental-klastisch ausgebildeten Rotliegenden und dem vorwiegend marin entwickelten Zechstein in Zentraleuropa fast deckt. Die Untergrenze des Zechsteins wird mit der Transgression des Zechsteinmeeres gezogen (KATZUNG 1972). Dies ist aber problematisch, da die ersten Transgressionsanzeichen bereits innerhalb der Gesteine des Weißliegenden auftreten.

2.2. Rotliegendes

Der Name Rotliegendes stammt aus dem Kupferschieferbergbau Mansfelds und bezeichnet die rotgefärbten, unvererzten Schichten im Liegenden des erzführenden Zechsteins. Das Rotliegende wird allgemein in Unterrotliegendes und Oberrotliegendes (Autunian und Saxonian) gegliedert.

2.2.1. Unterrotliegendes

Die Gesteine des Unterrotliegenden setzen sich aus sauren bis

basischen Vulkaniten zusammen, in denen untergeordnet terrigene klastische Einschaltungen vorkommen. Die höchsten Mächtigkeiten erreichen die Vulkanite mit über 2 km im Norddeutschen-Nordpolnischen Becken. Nach Westen und Osten hin nehmen die Vulkanite rasch an Mächtigkeit ab. Im Süden folgt eine zunehmende Verzahnung mit Sedimenten, die sich besonders in den intramontanen Teilbecken im eingebrochenen varistischen Orogen entwickelten (SOKOLOWSKI 1967, FALKE 1972, KATZUNG 1972, PLEIN 1978).

Diese verstärkten lithofaziellen Differenzierungen führt PLEIN (1978) letztlich auf herzynisch streichende Störungszonen zurück, die während des Perms aktiv waren und zu Modifikationen der Ablagerungsräume in Hochgebieten und Trögen führten.

Den Vulkaniten des Unterrotliegenden folgen mächtige, teils massige und oft zyklisch gleichförmig aufgebaute kontinentale Sedimente, die mehr als 1000 m Mächtigkeit erreichen (PLEIN 1978). In den Bereichen des Werra-Fulda-Beckens, die hier behandelt werden, ist sicheres Unterrotliegendes bisher nicht erbohrt worden. Allerdings ist es von der Umrandung des Thüringer Waldes (DEUBEL 1960) und in der Wetterau (KOWALCZYK & PRÜFERT 1974) bekannt. Aufgearbeitete Vulkanite, die als Gerölle im Oberrotliegenden gefunden wurden, könnten aus dem Unterrotliegenden stammen (FABER & KOWALCZYK 1979) und so indirekt auf das Vorhandensein von Unterrotliegendem deuten.

2.2.2. Oberrotliegendes

Seine Hauptverbreitung hat das Oberrotliegende wie auch das Unterrotliegende im Norddeutschen-Nordpolnischen Becken, wo es Mächtigkeiten von über 1200 m erreicht (PLEIN 1978). Die beiden Arbeitsgebiete Kichelsdorf und Spessart-Rhön liegen in den südlichen intramontanen Randtrögen, die an das Norddeutsche Becken grenzen. Die Erstreckung dieser Randtröge ist NE-SW gerichtet (TRUSHEIM 1964, KATZUNG 1975); allerdings erfolgte eine Untergliederung dieser Becken durch Querschwellen (LEIFELD & KULICK 1981, SCHUMACHER et. al. 1984). Die Kerne der Schwellenzüge bleiben frei von Rotliegendsedimenten, deren Mächtigkeiten in Richtung auf die Becken hin zunehmen.

PLEIN (1978) unterscheidet drei Faziestypen für die Sedimente des Oberrotliegenden:
- Fluviatile Konglomerate
- tonig-siltige Sabkha-Sedimente
- Sandsteine äolischen Ursprungs.

Im Gebiet des nördlichen und südlichen Werra-Fulda-Beckens sind Konglomerate und Sandsteine vorherrschend. In zentralen Teilen des Werra-Fulda-Beckens, wie z.B. im Gebiet der Treischfelder Tiefenschwelle sind zu einem erheblich größeren Teil Tone und Silte am Aufbau des Rotliegenden beteiligt als in den Randbereichen der Tröge (SCHÄFER 1969).

Marine Einflüsse sind bisher im Rotliegenden des Werra-Fulda-Beckens nicht nachzuweisen, sondern lediglich fluviatile und evtl. äolische Bildungen (RICHTER 1941a, OPPERMANN 1972). Nach den eigenen Ergebnissen scheint in den hier beschriebenen intramontanen Trögen dem Wasser vermutlich größere Bedeutung als dem Wind beim Sedimenttransport zuzukommen. Äolische und Sabkha-Sedimente sind nach GLENNIE (1972), GLENNIE et al. (1978) und PLEIN (1978) vorwiegend im Norddeutschen-Nordpolnischen Becken zur Ablagerung gekommen.

Nach KATZUNG (1975) herrschten bei der Sedimentation des Rotliegenden aride bis semiaride Bedingungen.

2.2.2.1. Die fluviatile Fazies

Die größten Mächtigkeiten der Gesteine des Rotliegenden werden in den zentralen Beckenbereichen der intramontanen Tröge gefunden, wo das Rotliegende mehrere hundert Meter Mächtigkeit erreichen kann (SCHÄFER 1969). Von den hier bearbeiteten Bohrungen im Gebiet von Richelsdorf wurden meist lediglich einige Meter des Rotliegenden durchteuft, die unmittelbar unter den Sedimenten des Zechsteins liegen; bzw. wurden geringmächtige Rotliegendsedimente erbohrt, die auf Grundgebirgsblöcken liegen. Vollständige Rotliegendprofile erbrachten in diesem Bereich die Bohrungen RO 18, 21, 23 und 24 (Abb. 2).

Die Mächtigkeiten des Rotliegenden liegen hier zwischen 1 m und 5,5 m; die Gesteine sind typisch rotgefärbt und die Korngröße der Komponenten reicht von Blöcken bis zum Feinsandbereich. Grundsätzlich ist an der Basis der Rotliegendabfolgen ein

brekziöser Aufarbeitungshorizont nachzuweisen, der dem unterlagernden Grundgebirge aufliegt. Die Komponenten sind vorwiegend Phyllite und Gangquarze, die sehr viel Hämatit führen. Das Konglomerat ist schwach gebankt, die Komponenten sind nur sehr schlecht gerundet und undeutlich schichtparallel eingeregelt. Zum Top der Profilabfolge hin ist eine Korngrößenabnahme zu beobachten, die bei zunehmender Sedimentmächtigkeit bis in den Feinsandbereich führt. Diese Schichtgradierungen wiederholen sich mehrfach und führen zu einem kleinzyklischen Aufbau, der ebenso wie die Korngrößen und der geringe Rundungsgrad der Komponenten das Entstehungsmilieu dieser Gesteine am ehesten in einem Wadi-ähnlichen Ablagerungsraum lokalisieren lassen.

Eine ähnliche Entwicklung ist bei den erbohrten Rotliegendprofilen aus dem Spessart-Rhön-Gebiet zu beobachten. Auch hier beginnt die vertikale Profilentwicklung mit Grobsandsteinen und Konglomeraten, die von der Basis zum Top hin allmählich in Mittelsandsteine übergehen. Im Gebiet Spessart-Rhön wurden allerdings nie durchgehende Profile bis zur Untergrenze des Oberrotliegenden erbohrt. Die Schichtfolgen sind normalerweise gradiert und haben oft einen erosiven Kontakt zur Basis. Rippelschichtung ist selten und nur undeutlich zu erkennen.

Aufgrund der Korngröße, die hauptsächlich im Mittel- bis Grobsandbereich liegt, und der geringen Mächtigkeit der einzelnen Zyklen, die oft unter 1/2 m liegt, ist zumindest der untere Teil des erbohrten Oberrotliegenden einem hochenergetischen Bildungsraum zuzurechnen. Ein solcher Bereich entspricht am ehesten einem "braided-river"-System (REINECK & SINGH 1980).

Im hangenden Bereich werden die Schichtpakete mächtiger und eine generelle Abnahme der Korngröße ist zu verzeichnen. Dies wird mit einem kontinuierlichen Rückgang der Strömungsenergie des Wassers in den Flußsystemen interpretiert. Allerdings fehlen sehr mächtige Schichtpakete und eine deutliche Beteiligung von Silt- und Tonsteinen am Aufbau der Sedimente, so daß das Sedimentationsmilieu am Ende des Rotliegenden immer noch als das eines "braided-river" angesehen werden muß, allerdings in einem niedrigeren energetischen Bereich als an der Basis des Rotliegenden. Das energetisch noch tiefere Niveau eines mäandrierenden Flusses wurde durch die vorliegenden Bohrungen nicht nachgewiesen.

2.2.2.2. Sabkha-Fazies

Eine Sonderfazies des Oberrotliegenden ist in den Bohrungen RN 1, 4 und 13 im westlichen Vorland der Rhön erschlossen worden (Abb. 5), die sich östlich an die Verbreitung der fluviatilen Sandsteine anlagert.

Anstelle der grobklastischen, fluviatilen Entwicklung treten hier Gesteine in einer feinkörnigen Fazies auf, die bereits der im Bereich der Treischfelder Tiefenschwelle (SCHÄFER 1969), bzw. der des Neuhofer Beckens (Bohrung Oberrode nach LAEMMLEN 1970) ähnelt. Die Sedimente sind aus einer Ton-Silt-Feinsandstein-wechsellagerung aufgebaut, wobei der Siltanteil vorherrscht. Die Schichtung ist als flaserig bis wellig (LÜTZNER et al. 1974) zu bezeichnen. Die Gesteine sind überwiegend rotgefärbt, daneben treten grau-grüne Farben auf, hauptsächlich in Form von Entfärbungshöfen. Calcit ist das vorherrschende Matrixmaterial, daneben tritt Anhydrit auf. Konkretionen kommen gehäuft vor, sie werden im Wesentlichen von Calcit, aber auch von Anhydrit gebildet.

Aufgrund dieser in feinkörnigen Sedimenten auftretenden Konkretionen wird das Ablagerungsmilieu dieser Sedimente als "Sabkha-Fazies" im Sinne von GLENNIE (1972) aufgefaßt. Die feinkörnigen Sedimente mit ihren Strukturen wie Belastungsmarken, Porenwasser-Austrittsmarken, Rippeln, Trockenrissen etc. können für sich allein betrachtet auch Überflutungsbereiche von Flußsystemen oder trockenfallende Seen kennzeichnen (REINECK & SINGH 1980).

Im Bereich der westlichen Schlüchterner Mulde herrschen im oberen Profilbereich des Rotliegenden Gesteine vor, die denen der Sabkha-Fazies im westlichen Vorland der Rhön entsprechen. Hier sind sie insgesamt aber nur sehr geringmächtig und stets über fluviatilen Sandsteinfolgen ausgebildet (Abb. 6). Als Beispiel ist die Bohrung SR 9 angeführt, wo es in einem Bereich von ca. 2 m zu einer Wechsellagerung von Sandsteinen, Siltsteinen und Tonsteinen kam, die mehr oder weniger horizontal geschichtet sind. In diesen Gesteinen treten bevorzugt schichtzerstörende Gefüge wie Trockenrisse und Sandsteingänge auf. In den Sandsteinen ist neben Karbonat auch Anhydrit in der Matrix verbreitet. Hier kam es auch zur Bildung der bereits erwähnten Karbonatkonkretionen,

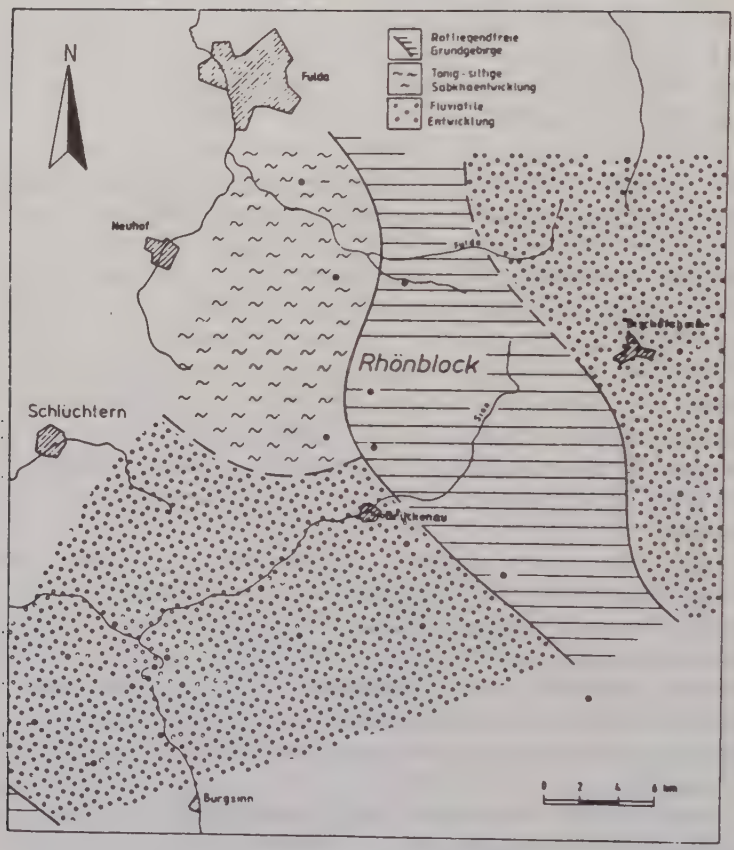


Abb. 5: Faziesverteilung im Oberrotliegenden des Spessart-Rhön-Gebietes
Fig. 5: Distribution of facies types of the Upper Rotliegend in the Spessart-Rhön area

die mehrere cm groß werden können und graurot gefärbt sind. Um die Karbonatknollen herum haben sich grüne Entfärbungshöfe gebildet. Die gleichen Beobachtungen sind in den Bohrungen SR 1, 8 und 10 zu machen. Anhydrit konnte jedoch nur noch in der Bohrung SR 8 nachgewiesen werden. Die relativ geringe Beteili-

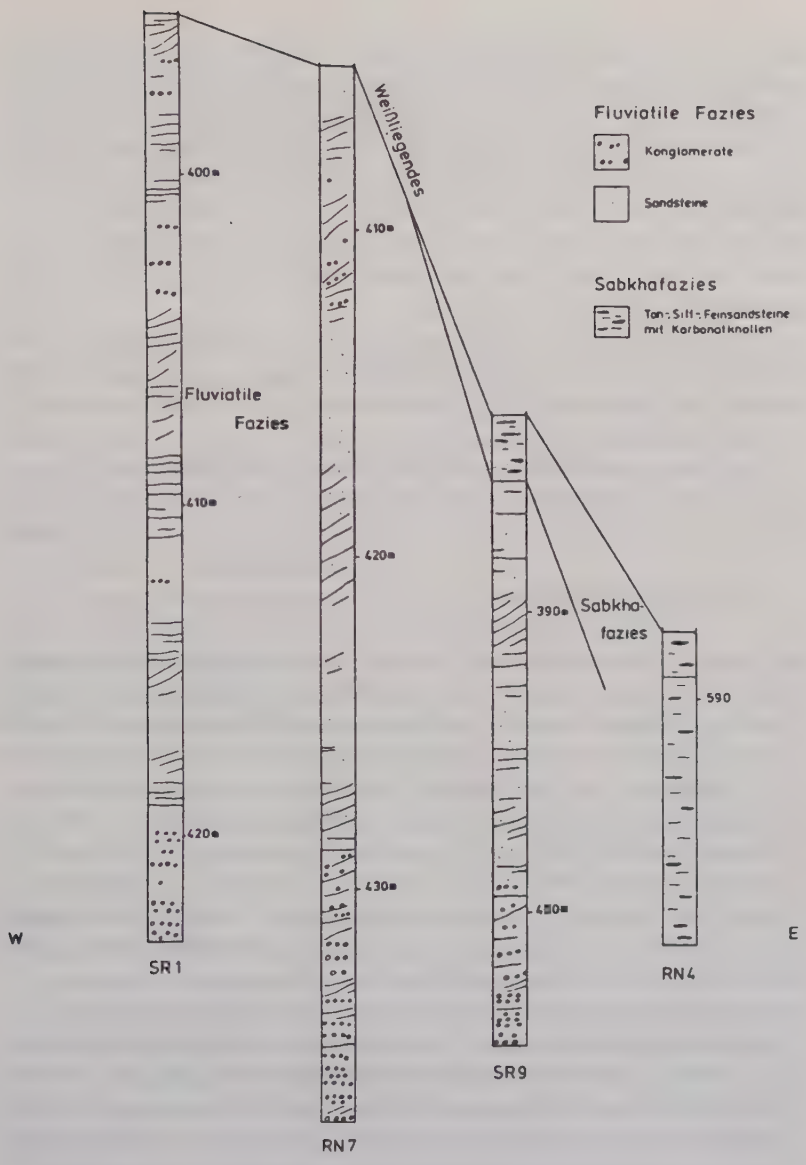


Abb. 6: Faziesquerprofil der Oberrotliegendgesteine in der Schlüchterner Mulde

Fig. 6: Cross section of Upper Rotliegend rocks formed under different facies types in the Schlüchterner Mulde

gung von Sulfaten an diesen Sedimenten in der Schlüchterner Mulde sowie deren vertikaler Übergang in fluviatile Sedimente läßt hier eher einen Überschwemmungsbereich eines Flußsystems als Ablagerungsbereich in Betracht kommen als eine Sabkha. Vermutlich herrschten zeitweilig Stillwasserbedingungen und im Extremfall kam es zur Austrocknung und zur diagenetischen Bildung von Karbonatknollen. Dünnschliffuntersuchungen zeigen deutlich die Bildung der Karbonatknollen als Folge einer Sammelkristallisation von Calcit.

Die beschriebenen Sedimente des Oberrotliegenden der Schlüchterner Mulde werden mit zunehmender Aridität in Verbindung gebracht, als deren Folge die Karbonatknollen als Calcrete-Bildungen entstanden.

Mit dieser Austrocknung und dem damit verbundenen Sedimentationsstillstand findet das Rotliegende seinen Abschluß.

2.2.2.3. Äolische Sedimente

Mit großer Sicherheit sind im Bereich des Norddeutschen-Nordpolnischen Beckens äolische Sedimente am Aufbau des Rotliegenden beteiligt. Allerdings ist die Unterscheidung zwischen fluviatilen und äolischen Sedimenten im Rotliegenden nicht einfach (GLENNIE 1972, DRONG et al. 1982, MADER 1982), da die meisten Strukturen äolischer Sedimente nicht eindeutig sind und auch in anderen Faziesbereichen auftreten. Typische Verzahnungen äolischer Fazien (KOCUREK 1981), wie sie zwischen Düne und Interdüne bestehen, sind im Werra-Fulda-Becken überhaupt nicht nachzuweisen. Die schlechte Sortierung und Rundung der Komponenten, die hohe Korngröße und der kleinzyklische Aufbau ebenso wie die weitverbreiteten Gradierungen sprechen nicht für ein äolisches Bildungsmilieu. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, daß in der Austrocknungsperiode des oberen Rotliegenden äolische Sedimente in den fluviatilen Ablagerungsraum gelangten, die dann aber von fluviatilen Sedimenten nicht mehr zu unterscheiden sind. Als Fazit des Gesagten muß angenommen werden, daß die große regionale Verbreitung von äolischen Dünen, wie sie GLENNIE (1972) aus dem norddeutschen-englischen Bereich angibt - und die mit rezenten äolischen Sandmeeren vergleichbar ist

(FREYBERGER et al. 1979) - im Werra-Fulda-Becken nicht zu belegen ist. Hier ist eine Vormacht fluviatiler Ablagerungsbedingungen zu erkennen. Auch im Bereich der Spessart-Rhön-Schwelle stehen die dort gefundenen Sabkha-Sedimente nicht mit eindeutig äolischen Sedimenten in Beziehung.

2.3. Zechstein

Im Zechstein werden nach RICHTER-BERNBURG (1955) 4 Sedimentationszyklen unterschieden. Nach KÄDING (1978) sind im Werra-Fulda-Becken und im Fränkischen Becken sogar 6 Zyklen nachzuweisen (Tab. 1). Hier erreichen die Sedimente des Werrazyklus eine höhere Mächtigkeit als die restlichen Schichtglieder des Zechsteins. Im Bereich der Becken ist der Werrazyklus salinar ausgebildet. Beide Arbeitsgebiete liegen im Übergangsbereich der Salinar- zur Randentwicklung.

Das Zechsteinmeer überdeckte vollständig die Rotliegendbecken; die Küste lag am Rand des Rheinischen Schiefergebirges und des Spessarts und verlief im Süden entlang einer Linie, die heute etwa der Alb in Süddeutschland entspricht (Abb.2).

Die Hangendgrenze des Zechsteins zum Bröckelschiefer des Buntsandsteins ist klar definiert (KÄDING 1978). Durch die problematische stratigraphische Stellung des Weißliegenden ist die Liegendgrenze des Zechsteins allerdings weniger gut zu fassen.

2.3.1. Weißliegendes

Die Zugehörigkeit des Weißliegenden zum Rotliegenden bzw. zum Zechstein wurde mehrfach diskutiert. Aufgrund der Fossilarmut im Weißliegenden konzentrierte sich die Argumentation über die stratigraphische Stellung des Weißliegenden auf eine Interpretation des sedimentären Ablagerungsraumes, wobei terrestrische Sedimente in das ebenfalls terrestrisch gebildete Rotliegende zu stellen sind und marine Sedimente in den Zechstein.

Nach RICHTER-BERNBURG (1955) kamen an der Basis der Zechstein-Zyklen jeweils gröbere, klastische Sedimente zur Ablagerung,

die dann durch zunehmende Eindampfungstendenz in eine Evaporitsequenz übergehen, die im Idealfall einen Zyklus beendet.

Demzufolge ist die Basis des Zechsteins sinnvollerweise dort zu legen, wo der Beginn der grobklastischen Folge anzusetzen ist, in der der Kupferschiefer als erstes feinklastisches und vollmarines Sediment des Zechsteins eingeschaltet ist. Diese Einstufung des Weißliegenden wird durch die biostratigraphischen Verhältnisse unterstützt. Das Weißliegende ist fossilarm und bisher biostratigraphisch nicht einzuordnen. Es ist aber zumindest zum Teil als sicher zum Zechstein gehörig zu datieren, da ein Vergleich der Fossilführung des Kupferschiefers ergab, daß dieser etwas oberhalb der im vollmarinen Bereich biostratigraphisch zu fassenden Liegendgrenze des Zechsteins gelegen ist (KATZUNG 1975) und nicht die Basis des Zechsteins repräsentiert.

Ein weiteres Problem der Lithologie der Basisgesteine des Zechsteins ist ihre uneinheitliche Ausbildung, was sich darin äußert, daß für die Klassifizierung der klastischen Gesteine des Weißliegenden verschiedene, zum Teil stratigraphisch identische Begriffe gebräuchlich sind.

Im Bereich der Treischfelder Tiefenschwelle stellt SCHÄFER (1969) die dort gefundenen Gesteine in das Rotliegende. LAEMMLEN (1975) sieht in ihnen das Weißliegende, ein Äquivalent des Cornberger Sandsteins (BRANDES 1912, FULDA 1935, RICHTER 1941), bzw. das Zechsteinkonglomerat. Das Zechsteinkonglomerat wird von den meisten Autoren auch an den Beginn des Zechsteins gestellt (BRANDES 1912, FREYBERG 1932, RICHTER 1941a, RICHTER-BERNBURG 1955, HERMANN 1956, ROTH 1965, TRUSHEIM 1964, SCHÄFER 1969, KATZUNG 1972, KÄDING 1978). Das Weißliegende wird auch als ein äolisches Sediment aufgefaßt (TRUSHEIM 1964, OPPERMANN 1971, NEMEC 1977), bzw. als aquatisch umgelagerte Sedimente (KURZE 1962, KRIEBEL 1967, PRYOR 1971).

Aus den nebeneinander bestehenden Gesteinsbezeichnungen, die offenbar gleich alte, aber in unterschiedlichen Faziesräumen abgelagerte Sedimente beschreiben, ergab sich die Notwendigkeit einer klaren Gliederung des Weißliegenden, sowie der Unterscheidung und Klärung der Ablagerungsräume mit den dazugehörigen Gesteinen.

Bei den hier ausgewerteten Bohrungen ließ sich eine regional vergleichbare Verteilung von Karbonaten in den Gesteinen des Weißliegenden nachweisen. Durch die fazielle Interpretation der verschiedenen Weißliegendgesteine, besonders der karbonatführenden, wurde eine dreiteilige Zonengliederung (A,B,C) für das Weißliegende des

Werra-Fulda-Beckens erreicht (Abb. 7). Diese lithostratigraphische Gliederung des Weißliegenden soll es ermöglichen, die regionale Verteilung einzelner charakteristischer Faziseinheiten zu erfassen und ihre Bedeutung für die Paläogeographie des Kupferschiefermeeres zu erkennen. Weiterhin soll es durch die lithostratigraphische Erfassung der Weißliegendbasis möglich sein, die normalerweise graugefärbte Fazies des Weißliegenden von der sie epigenetisch später erfassenden Roten Fäule zu unterscheiden. Das Weißliegende wird als ein primär graues Sediment angesehen, da der hohe Anteil von grauen Tonen und organischen Relikten, die schichtig im Weißliegenden auftreten, die Annahme einer sekundären Graufärbung eines ehemals rotgefärbten Schichtpaketes unwahrscheinlich machen (RICHTER 1941b).

2.3.1.1. Zone C (Fluviatiler Basalsandstein, Porphyrkonglomerat)

In der Zone C sind hauptsächlich konglomeratische Sandsteine und Konglomerate vertreten. Die Liegendgrenze der Zone C ist erosiv und relativ deutlich zu erkennen. Ihre Hangendgrenze zur Zone B ist wesentlich unschärfer. Die Gesteine der Zone C sind insgesamt weniger als 10 m mächtig (Abb. 8). Innerhalb der gesamten Schichtfolge nimmt die Korngröße zum Hangenden hin ab, allerdings ist diese Gradierung nicht kontinuierlich ausgebildet, sondern mehrmals durch Wechsellagerungen unterbrochen.

Im nördlichen Teil des Werra-Fulda-Beckens tritt als basales Sediment des Zechsteins das "Porphyrkonglomerat" auf. Dieses Konglomerat überlagert Grundgebirge bzw. Rotliegendes und weist einen deutlich unterschiedlichen Komponentenbestand zu den Sedimenten des Rotliegenden auf. Als typische Bestandteile sind Quarzporphyre in Kieskörnung vorhanden, die dem darunterliegenden Rotliegenden fehlen. Im östlich angrenzenden Thüringen beschreiben JUNGWIRTH & SEIFERT (1966), KRIEBEL (1967) und KÄSTNER (1969) ebenfalls das Auftreten von Quarzporphyrgeröllen im Weißliegenden.

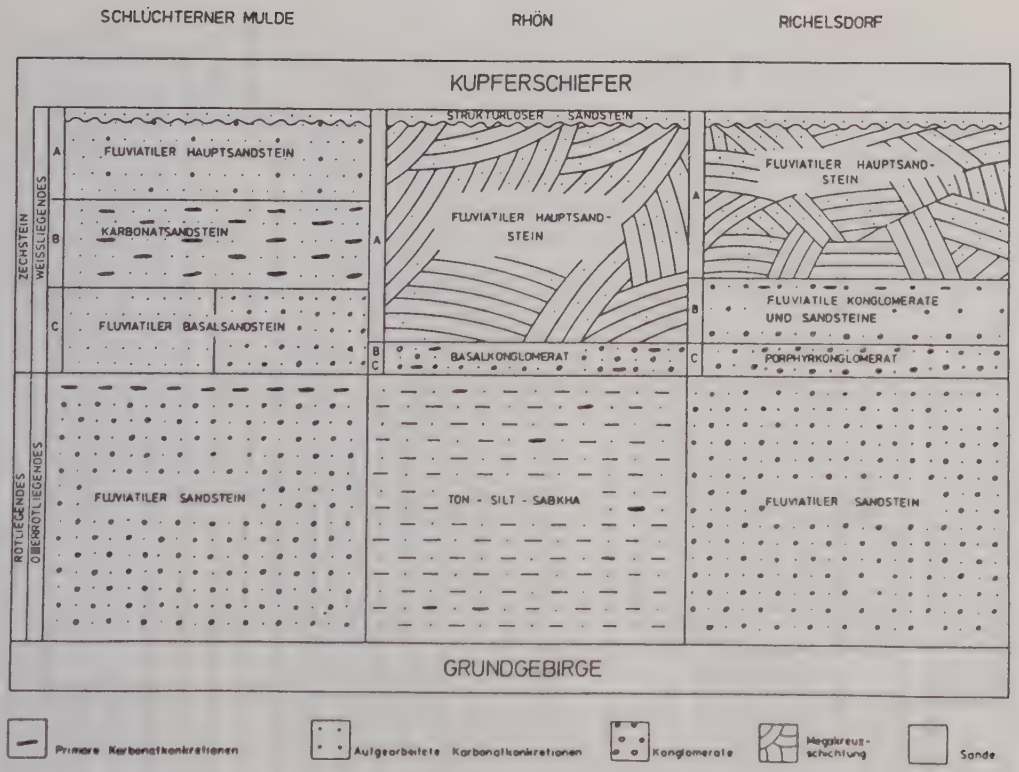


Abb. 7: Lithostratigraphische Gliederung der Gesteine des Weißliegenden
Fig. 7: Lithostratigraphy of the Weissliegend rocks

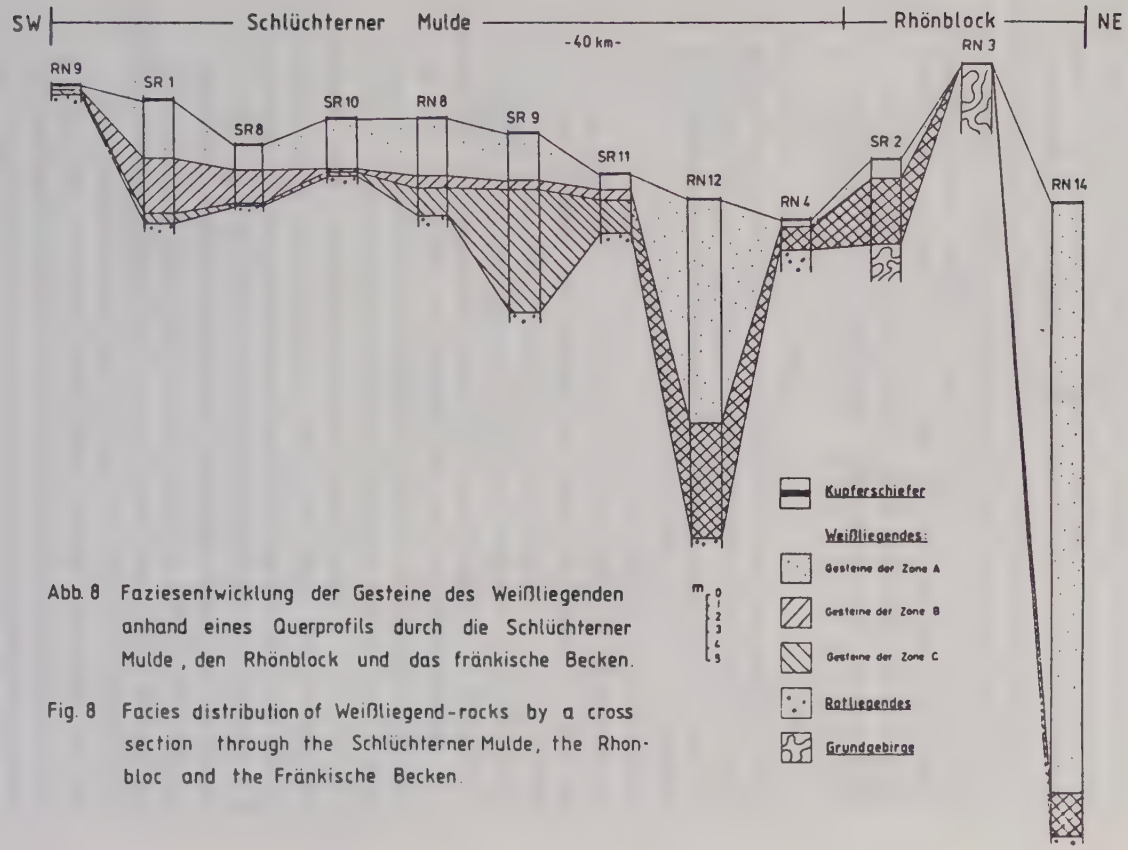


Abb. 8 Faziesentwicklung der Gesteine des Weißliegenden anhand eines Querprofils durch die Schlüchterner Mulde, den Rhönblock und das fränkische Becken.

Fig. 8 Facies distribution of Weißliegend-rocks by a cross section through the Schlüchterner Mulde, the Rhonbloc and the Fränkische Becken.

Mengenmäßig bilden Quarzporphyre und Grundgebirgsgesteine die Hauptbestandteile des Konglomerates. Bei den Grundgebirgsgesteinen handelt es sich hauptsächlich um gut gerundete Phyllite sowie schlechter gerundete Grauwacken und Karbonatgesteine Im Grundgebirge der Gegend um Ronshausen treten gehäuft Gänge mit hydrothermal gebildeten Quarzen auf, die viel Hämatit führen. Die Hauptmenge der Quarze in den Sedimenten dürfte diesen hydrothermalen Gängen entstammen. Im Tagesaufschluß sind sie bei Gut Gunkelrode, Cornberg und Gilfershausen nachzuweisen.

Im Bereich des östlich angrenzenden thüringischen Gebictes werden Vulkanite im Rotliegenden (LÜTZNER et al. 1981) und auch als Gerölle im Weißliegenden beschrieben (JUNGWIRTH & SEIFERT 1966, KRIEBEL 1967 und KÄSTNER 1969). Es liegt deshalb nahe, den Ursprung der Vulkanite im östlichen Bereich anzunehmen.

Die Korngröße, die schlechte Rundung der Kieskomponenten, die geringe Mächtigkeit der Schichtkomplexe und die oft wiederholte Erosion innerhalb der Schichtfolge sprechen für einen Ablagerungsraum innerhalb eines "braided-river"-Systems.

Die Matrix des Konglomerats wird in erster Linie von Calcit und von Eisenoxiden, bzw. Eisenhydroxiden gebildet, die in toniger Grundmasse liegen. Stellenweise sind die Porenräume auch mit einer bituminösen Grundmasse ausgefüllt.

Ebenso wie im nördlichen Werra-Fulda-Becken ist im Spessart-Rhön-Gebiet das Hauptunterscheidungsmerkmal zwischen Weißliegendem und Rotliegendem die Zusammensetzung der Komponenten. Dennoch ist die Unterscheidung schwieriger, da die Komponenten hier nicht mehr oder weniger schichtgebunden auftreten wie im Richelsdorfer Gebiet die Quarzporphyre. Das Geröllspektrum ändert sich nicht im Vergleich zum Rotliegenden. Hinzu kommt, daß sich im Bereich der Schlüchterner Mulde die Schuttströme von zwei deutlich zu unterscheidenden Gebieten mischen. Das eine Liefergebiet ist die Grundgebirgsscholle des Rhönblocks und das zweite ist der Spessart mit seinen kristallinen Gesteinen (Abb. 9).

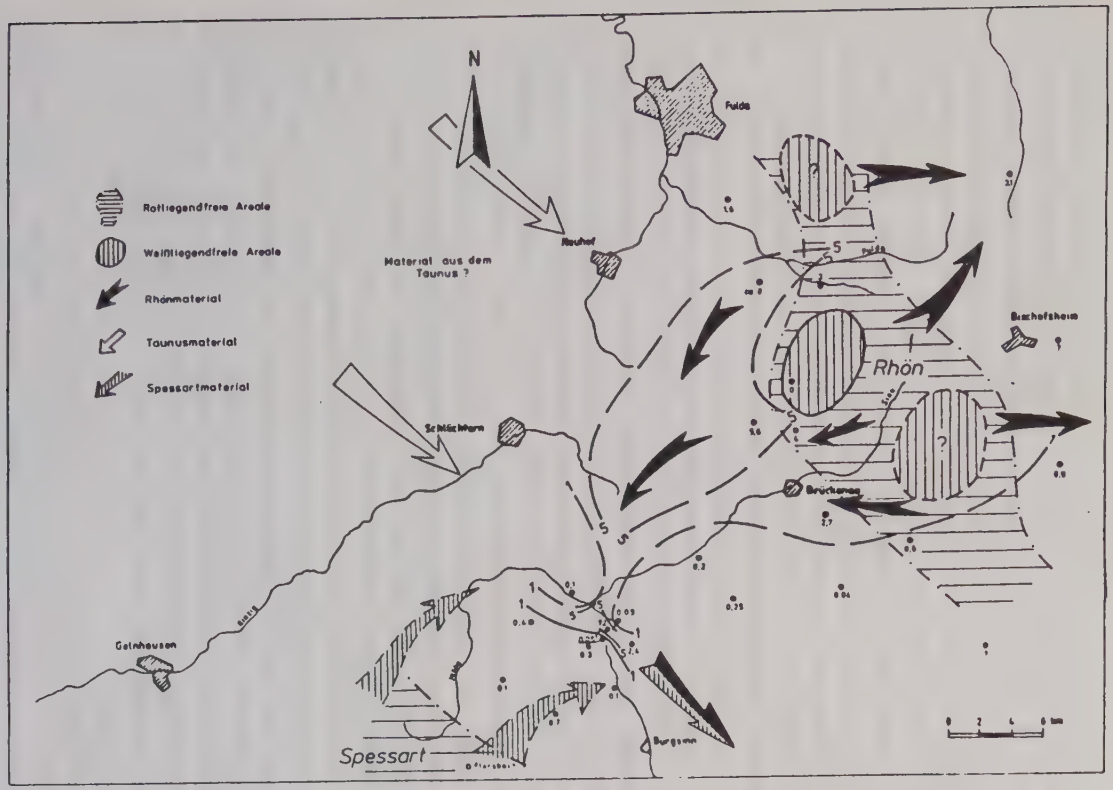


Abb. 9: Mächtigkeit des Basalkonglomerats (Zone C) und mögliche Schüttungsrichtung
Fig. 9: Thickness of the Basalkonglomerat (zone C) and potential flow directions

Die größten Mächtigkeiten werden im Umfeld der Rhön erreicht. In den Bohrungen RN 1, 4 und 13 lagert das konglomeratisch ausgebildete Weißliegende sehr feinkörnigen Sedimenten des Rotliegenden auf, und die Unterscheidung zwischen Rotliegendem und Weißliegendem ist in diesem Fall sehr leicht zu vollziehen. Mit Ausnahme der Bohrung RN 12 ist dieses Konglomerat im gesamten Bereich der Rhön sehr brekziös ausgebildet. Die Komponenten sind eckig, kaum sortiert und vermutlich nicht weit verfrachtet worden. Die Hauptbestandteile sind Granit-, Gneis- sowie Quarzitgerölle, die aus dem Grundgebirge des Rhönblocks stammen. Die Matrix des Basalkonglomerats ist Ton und Karbonat. In einigen Fällen, wie in der Bohrung Rn 13, ist als porenfüllendes Material Bitumen vorhanden, das eine Graufärbung des Konglomerats verursacht. Die hier beschriebene mächtige Entwicklung der Konglomerate ist von der Bohrung RN 4 im Norden bis zur Bohrung RN 15 im Süden zu verfolgen. Nach den Mächtigkeitsverläufen des Basalkonglomerats ist ein vorwiegend nach Westen gerichteter Verlauf der Schüttungsrichtung anzunehmen (Abb. 9).

Im Kern des Rhönblocks kam es nicht mehr zur Sedimentation irgendwelcher Ablagerungen des Weißliegenden, so daß der Kupferschiefer direkt dem Grundgebirge auflagert (Bohrung RN 3). In der Bohrung RN 2, die ebenfalls den Rhönblock erschloß, sind nur ca. 3 Meter Brekzie vorhanden, die als wadiartige "channel-fill"-Sedimente aufzufassen sind. Die dritte Bohrung, die auf dem Grundgebirgssockel der Rhön stand (RN 10), erbrachte über 20 cm Grundgebirgszersatz und darüber eine 60 cm mächtige Sandstein- und Konglomeratwechsellagerung. Die Farbe der Sedimente war durchweg grau. Der Ablagerungsraum im westlichen Vorland der Rhön ist insgesamt als alluvialer Fächer vorzustellen.

Im Bereich der Schlüchterner Mulde verzahnen sich die beschriebenen Konglomerate zusehends mit Sandsteinen. Die Mächtigkeit der Konglomerate geht innerhalb des Schichtverbandes auf nur wenige cm zurück und die Körnung der Gesteine liegt insgesamt im Sandbereich.

Die konglomeratischen Lagen im östlichen Spessart und der westlichen Schlüchterner Mulde sind außerdem durch einen stets vorhandenen Anteil an Quarzporphyren gekennzeichnet, die in der Rhön und deren Umgebung fehlen. So wird eine Unterscheidung zwischen der Rhön und dem Spessart als Liefergebiet ermöglicht. Der Anteil an Quarzporphyren und auch Feldspäten am Geröllspektrum nimmt zum Hangenden hin ab.

Im Gegensatz zur Rhön wurde der kristalline Grundgebirgssockel des Spessarts in keiner Bohrung erreicht. Deshalb bleibt die Ostbegrenzung des Spessartblocks gegen das Rotliegendbecken der Schlüchterner Mulde unklar. Allerdings steht im Gegensatz zur Rhön im kristallinen Spessart außerhalb des Arbeitsgebietes Grundgebirge an, so daß sich hier die Möglichkeit ergibt, die Grundgebirgsgerölle des Weißliegenden vom Spessart her abzuleiten.

Die Komponenten weisen hier eine bessere Rundung auf als in der Konglomeratfazies der Rhön. Außerdem ist ein kleinzyklischer Aufbau nachzuweisen, der dort fehlt. Getrennt werden die gradierten Schichten durch Erosionsdiskordanzen.

Als Ablagerungsmilieu kommen hier vermutlich nicht näher zu untergliedernde Faziestypen eines "braided-river"-Systems in Frage, also Sedimente eines tieferen Flußniveaus als die alluvialen Fächer und Wadifüllungen im Bereich des Rhönblocks. Eine genauere Faziesaussage kann bei den Bohrungen SR 9 und SR 11 durchgeführt werden, bei denen einmal 9 m und zum anderen 2,5 m mächtige Konglomerat-Sandsteinwechsellagerungen erbohrt wurden (Abb. 8). In der Bohrung SR 9 sind in diesem Profilabschnitt mindestens 10 Kleinzyklen nachweisbar, und im Vergleich mit den umliegenden Bohrungen ist die Korngröße der Sedimente hier wesentlich höher. Bei beiden Bohrungen dürfte es sich um "channel-lag"-Sedimente handeln (REINECK & SINGH 1980), die im Flußlauf abgelagert wurden.

Die regionale Zusammensetzung der Sedimente läßt erkennen, daß es sich um einen Flußlauf gehandelt haben muß, der Material aus der ferneren Umgebung antransportierte und sich im tiefsten Teil der Schlüchterner Mulde befand. Dieser Flußlauf wird mit dem regionalen Hauptentwässerungssystem im Bereich der Spessart-

Rhön-Schwelle gleichgesetzt. In diesem Flußlauf erfolgte eine Vermischung von Sedimenten aus dem Spessart und der Rhön. Östlich des postulierten Hauptentwässerungskanals konnten keine Quarzporphyrgerölle, die aus dem Spessartbereich stammen, mehr festgestellt werden.

2.3.1.2. Zone B (Karbonatsandstein)

Als Charakeristikum der Zone B treten Karbonatkonkretionen innerhalb von Sandsteinen auf. Das Gefüge und die Zusammensetzung der Sandsteine entspricht denen der Zone C, d.h., es liegt eine Wechsellagerung aus gröberen und feineren Lagen vor. Dies ist damit zu erklären, daß die sedimentären Prozesse kontinuierlich weitergingen. Abweichungen sind in postsedimentären Bedingungen, die zur Bildung der Karbonatknollen führten, begründet. Die Basis der Zone B wird unter dem sedimentären Zyklus gezogen, in dem die charakteristischen Karbonatkonkretionen erstmals auftreten. Die Obergrenze der Zone B ergibt sich als Beginn eines neuen Zyklus, der die Karbonatkonkretionen nicht mehr führt, bzw. im Falle einer vorausgegangenen Aufarbeitung nur noch als klastische Komponenten. Die Karbonatkonkretionen sind im gesamten Spessart-Rhön-Gebiet nachzuweisen, wo sie jeweils in einer vergleichbaren stratigraphischen Position auftreten.

Karbonatknollen sind auch im Rotliegenden weit verbreitet (KOWALCZYCK & PRÜFERT 1978); ihre lithostratigraphische Bedeutung für das Weißliegende wurde bisher nicht beschrieben.

Makroskopisch sind die Karbonatknollen als im Sediment gebildete Konkretionen zu erkennen. Die primären Sedimentstrukturen, wie die Schichtung, sind auch innerhalb der Konkretionen anhand der detritischen Einschlüsse zu verfolgen. Mikroskopisch gesehen sind die Karbonatknollen aus Calcit aufgebaut, der im Zentrum der Knollen sparitisch kristallisiert ist und zu den Rändern hin feinkristalliner und diffuser wird, bis ein fließender Übergang zu der mikritischen Karbonatmatrix der Sandsteine vollzogen ist. Neben Karbonat kann auch Ton in der Matrix auftreten. Die Karbonatkristalle der Knollen weisen im allgemeinen ein radiales Anwachsen an Sandpartikeln auf.

Ein weiteres Argument für die beschriebene epigenetische Natur der Karbonatkonkretionen ist ihr mineralogischer Aufbau. Das Karbonat ist fast ausschließlich Calcit, nichtkarbonatische Bestandteile sind Quarz, Kalifeldspat und Illit. Nach FLÜGEL (1978) könnten solche Karbonate Süßwasserbildungen oder Ablagerungen in marinen Räumen sein, was aber hier beides auszuschließen ist. Am ehesten kommen für die Bildung der Karbonatknollen pedogenetische Prozesse in Betracht, wofür auch die erhöhten Anteile an organischer Substanz sprechen. Der Anteil des organischen Kohlenstoffes steigt im Weißliegenden um durchschnittlich eine Zehnerpotenz gegenüber dem Rotliegenden an; in der Bohrung SR 11 bis auf 0,13% C_{org} (Abb. 52).

Im reduzierenden Milieu des beschriebenen Ablagerungsraumes ist das Verhältnis Fe^{2+}/Fe^{3+} zugunsten der reduzierten Form verschoben, so daß hier Fe^{2+} zur Bildung glaukonitähnlicher Tonminerale führen könnte, wodurch eine Grünfärbung des Sedimentes verursacht werden kann. Röntgenanalysen ergaben jedoch keine charakteristischen grünfärbenden Tonminerale sondern lediglich Illit und weniger verbreitet Kaolinit. Nur im Matrixanteil der Karbonatknollen ist der Anteil des Kaolinits höher als der des Illits. Vermutlich hat sich durch das auskristallisierte Karbonat in den diagenetisch gebildeten Konkretionen primär Kaolinit gehalten, der ansonsten in dem Sandstein ungeschützt vorlag und zu Illit umgewandelt wurde, welcher die Grünfärbung hervorrief.

In den Bohrungen SR 1 und SR 6 ist die Mächtigkeit des Karbonatsandsteins am höchsten. Über eine Profillänge von drei bis vier Metern bilden die Karbonate Knollen und mächtige kompakte Krusten, die in einer Grobsand-Feinkiesmatrix liegen. In den übrigen Bohrungen der Schlüchterner Mulde sind die karbonatführenden Sandsteine nicht sehr mächtig, und die Karbonate treten in wesentlich geringerer Anzahl auf.

In den Bohrungen, die die Rhön umrahmen, ist bemerkenswert, daß insitu gebildete Karbonatknollen nur auf das basale Konglomerat beschränkt bleiben. Eine Trennung der Zone C und B ist nicht möglich - beide Zonen fallen hier zusammen (Abb. 8).

Im nördlichen Bereich des Werra-Fulda-Beckens sind Karbonatkonkretionen nur vereinzelt zu finden, wie z.B. in der Bohrung

RO 23, wo eine ca. 10 cm mächtige Karbonatkruste annehmen läßt, daß die in der Schlüchterner Mulde durchzuführende Gliederung des Weißliegenden auch im nördlichen Bereich des Werratroges anzuwenden ist.

Bei den Karbonatknollen des Weißliegenden handelt es sich vermutlich nicht um Sabkha-Bildungen wie im Rotliegenden des östlichen Rhönvorlandes, da während des Weißliegenden sicherlich humidere Bedingungen geherrscht hatten als im Oberrotliegenden, wie an der allgemein verbreiteten, besseren Aufarbeitung der Sedimente, der Verbreitung grauer Tone und organischer, bituminöser Relikte zu erkennen ist.

2.3.1.3. Zone A (Fluviatiler Hauptsandstein)

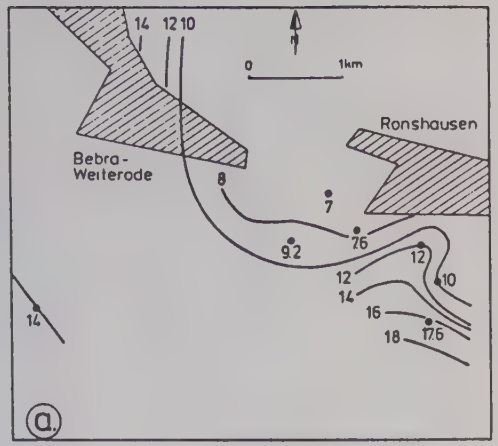
Die Liegendgrenze der Zone A wird mit der Erosionsdiskordanz gezogen, auf die Gesteine folgen, die Karbonate nur noch als detritische Komponente führen. Die Hangendgrenze bildet der Kupferschiefer.

Diese Gesteine der Zone A sind die "typischen" Sandsteine des Weißliegenden, die im nördlichen Werra-Fulda-Becken und im fränkischen Becken (TRUSHEIM 1964) Sandsteinmächtigkeiten von über 40 m aufweisen (Abb. 10, 11). Nur im Bereich der nördlichen Schlüchterner Mulde, im Umfeld der Rhön und in der Rinne der Iba (RICHTER 1941a) sind die Gesteine der Zonen C und B mächtiger als die Sedimente der Zone A.

Die laterale Verzahnung der mächtigen Sandsteinfolgen mit randlich anschließenden Konglomeraten ist durch die relativ hohe Zahl von Bohrungen im Gebiet Richelsdorf bewiesen (Abb. 12).

Im Wesentlichen sind zwei Hauptgesteinstypen im Werra-Fulda-Becken vertreten: megakreuzgeschichtete und strukturlose Sandsteine. Diese Gesteine sind besonders im Norddeutschen-Nordpolnischen Becken (NEMEC & POREBSKI 1977, BLASCZYK 1981) bis nach Schottland verbreitet (GLENNIE & BULLER 1983).

Im strukturlosen Sandstein fehlen Sedimentstrukturen weitgehend. Allerdings beschreiben GLENNIE & BULLER (1983) wie auch NEMEC & POREBSKI (1977) Silt- und Toneinschaltungen, die Geisterstrukturen im strukturlosen Sandstein bilden, und interpretieren diesen Sandstein als Kollapsbildung äolischer Dünen unter Einfluß des transgredierenden Zechsteinmeeres. Im oberen Teil des



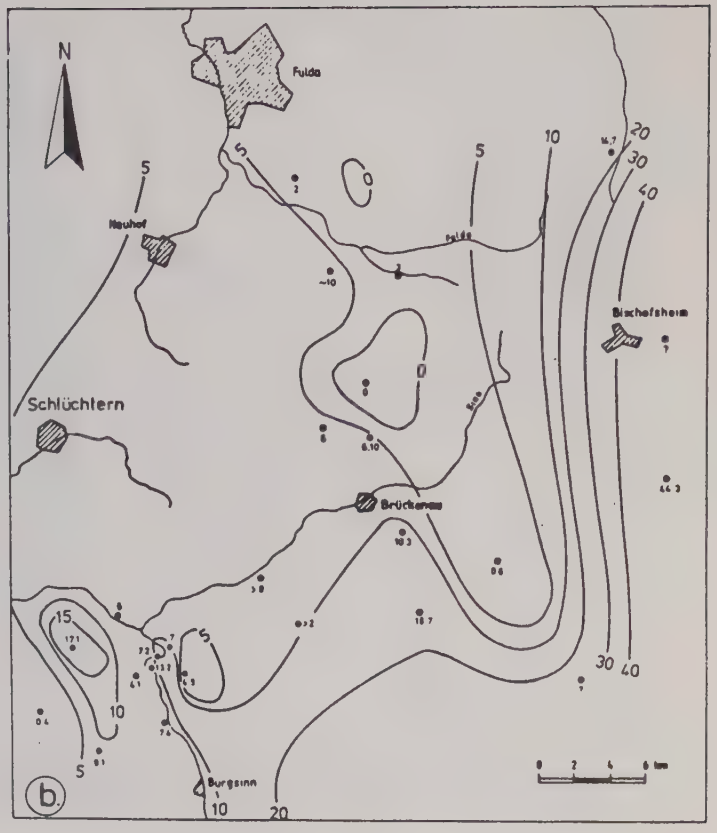


Abb. 10: Mächtigkeit des Weißliegenden in Richelsdorf (a) und dem Gebiet Spessart-Rhön (b).

Fig. 10: Thickness of the Weißliegend rocks in Richelsdorf (a) and Spessart-Rhön (b).

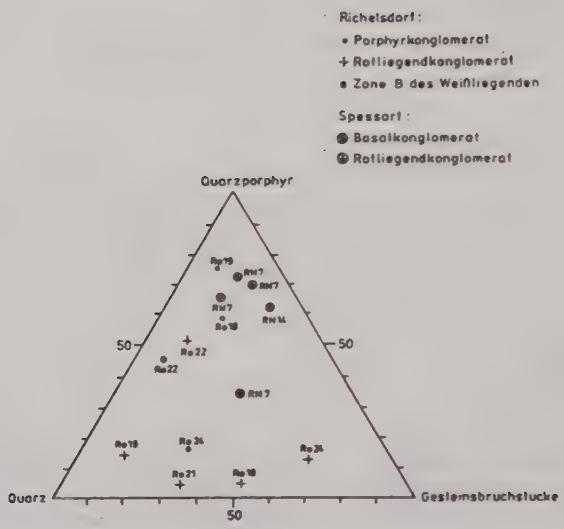


Abb. 11a: Verhältnis von Quarzporphyr, Quarz und Gesteinsbruchstücken in verschiedenen Konglomeraten.
Fig. 11a: Portion of quartz porphyries, quartz and rock fragments as components of several conglomerates.

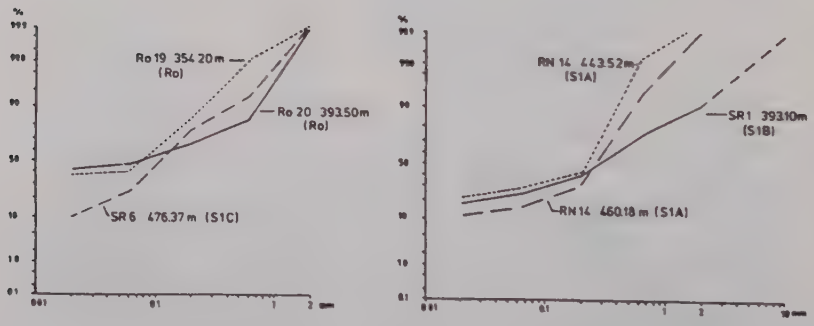


Abb. 11b: Korngrößenverteilungen in verschiedenen Schichten des Rotliegenden und Weißliegenden.
Fig. 11b: Grain-size distribution in several beds of the Rotliegendes and Weißliegendes.

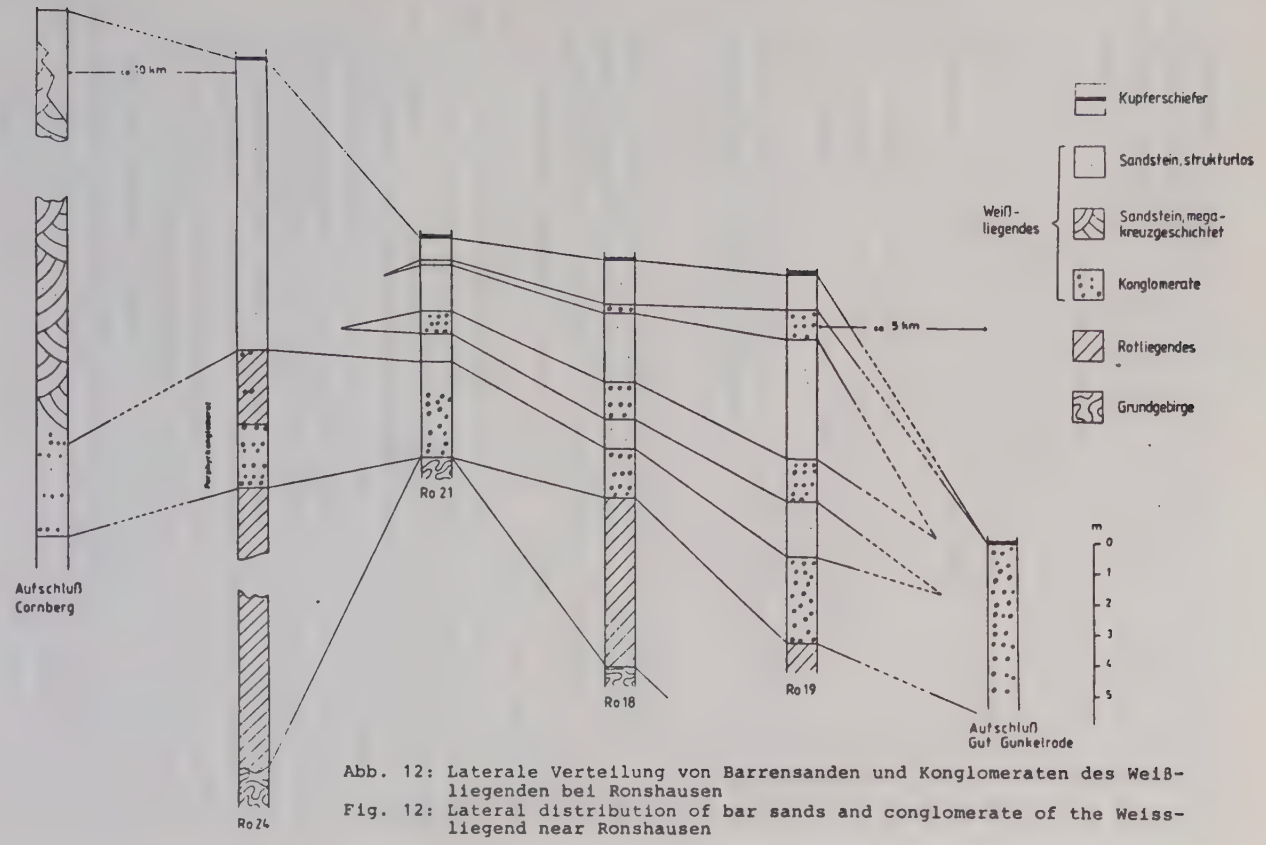


Abb. 12: Laterale Verteilung von Barrensanden und Konglomeraten des Weißliegenden bei Ronshausen

Fig. 12: Lateral distribution of bar sands and conglomerate of the Weissliegend near Ronshausen

Weißliegenden, wo der strukturlose Sandstein in Polen gelegentlich Fossilien führt, ist er sicherlich unter marinen Bedingungen gebildet worden. Allerdings beschreiben NEMEC & POREBSKI (1977) wie auch BLASCZYK (1981) strukturlose Sandsteinpartien innerhalb von Wechsellagerungen mit anderen Sandsteintypen, die BLASCZYK (1981) deshalb zwangsläufig ebenfalls für marinen Ursprung hält, obwohl dies nicht eindeutig ist.

Das Korngrößenspektrum reicht bei dem strukturlosen Sandstein vom Fein- bis Grobsandbereich (NEMEC & POREBSKI 1977, BLASCZYK 1981). Die Körnung des strukturlosen Sandsteins weist somit ein breites Spektrum auf, was wiederum auf ein strömungsenergetisch uneinheitliches Ablagerungsmilieu schließen läßt. Die Gefügezerstörung ist deshalb als ein unabhängig von der Sedimentation abgelaufener Prozeß zu sehen.

Durch den Mangel an Strukturen des Sandsteins ist eine Interpretation der Ablagerungsbedingungen sehr schwierig, wenn man diesen Gesteinstyp nicht im Gesammtzusammenhang des Schichtverbandes sieht.

Im Werra-Fulda-Becken treten strukturlose Sandsteine in mehrere Meter mächtigen Partien am Top z.B. des Cornberger Sandsteins im Steinbruch von Cornberg auf. Die unter dem strukturlosen Sandstein liegenden Ablagerungen sind dagegen megakreuzgeschichtete Sandsteine.

Die megakreuzgeschichteten Sandsteine der Zone A sind grobkörnige Sandsteine, hauptsächlich Mittel- bis Grobsande, die einen hohen Matrixanteil - zumeist Karbonat - haben, Komponenten der Kiesfraktion sind als konglomeratische Wechsellagerungen oder aber als Einsprenglinge in den Sandsteinen eingeschaltet, die dann mehr oder weniger regellos im Sandstein verteilt vorkommen. Das Hauptunterscheidungsmerkmal der Gesteine der Zone A von denen der Zone B liegt im Fehlen von Karbonatkonkretionen. Hauptsächlich im Spessart-Rhön-Gebiet treten Karbonate nur noch in Form von aufgearbeiteten, detritischen Komponenten auf, deren Größe in der Feinkiesfraktion liegt. Die Zusammensetzung der Sedimente ändert sich innerhalb der Zone A kontinuierlich zum Hangenden hin. Allgemein ist eine Zunahme des Karbonatgehaltes festzustellen, verbunden mit einem Rückgang von Feldspäten.

Vorherrschender Schichtungstyp ist eine im Halbmeter-Bereich liegende Bankung. Das Einfallen der Laminen ändert sich inner-

halb der Bänke nur geringfügig, zumeist ist ein Ansteigen des Einfallswinkels zum Hangenden hin zu verzeichnen. Innerhalb der megakreuzgeschichteten Sandsteine können auch durchaus strukturlose Partien vertreten sein.

Die megakreuzgeschichteten Sandsteine sind im polnischen Rotliegenden die dominierende Fazies (BLASCZYK 1981) und reichen bis in das Weißliegende hinein. Dort bestehen die Gesteine aus Fein- bis Mittelsanden. Sie enthalten weder Konglomerate noch Siltsteine als Zwischenlagen, und die Kreuzschichtungseinheiten liegen zwischen 0,7 m und 10 m. BLASCZYK (1981) interpretiert diese Gesteine als marine Bildungen.

In Großbritannien und der Nordsee wird der megakreuzgeschichtete Sandstein einer äolischen Fazies zugeordnet (GLENNIE & BULLER 1983). Im Werra-Fulda-Becken scheinen die megakreuzgeschichteten Sandsteine allerdings weder marinen noch äolischen Ursprungs zu sein, wie sich aus ihrem unterschiedlichen Aufbau ergibt. Nach GLENNIE (1972) sind die Gesteine des Dünenbereichs hauptsächlich Fein- und Mittelsandsteine, aber auch gelegentlich Grobsandsteine. Dies ist häufig im basalen Teil eines Dünenkomplexes der Fall. Die Weißliegendgesteine des Werra-Fulda-Beckens sind im Vergleich dazu sehr grobe Ablagerungen, wie dies besonders an den Einschaltungen von Konglomeraten zu sehen ist. Weiterhin ist die Rundung der Komponenten im Werra-Fulda-Becken allgemein schlechter als dies im äolischen Bereich zu erwarten wäre, da gerundete oder sogar gut gerundete Sandsteinkörner selten vorkommen. Ebenso sind Deflationslagen als Bildungen der Dünenbasis (MADER 1982) nicht nachzuweisen.

Ton ist in der Matrix äolischer Sandsteine, von authigen gebildeten Tonmineralen abgesehen, wenig vorhanden. Dieser auch auf die megakreuzgeschichteten Sandsteine zutreffende Befund sowie deren Lamination würde eher für äolische Sedimente sprechen.

Nach GLENNIE (1972) sind die Laminationen in Sedimenten des äolischen Bereiches sehr scharf begrenzt, wobei die untersten Laminen in der Abfolge mehr oder weniger horizontal liegen und zum Hangenden hin allmählich steiler einfallen. Diese Verhältnisse sind zwar auch in den megakreuzgeschichteten Sandsteinen

des Werra-Fulda-Beckens zu verzeichnen, allerdings ist ihre Begrenzung bei weitem nicht so scharf wie z.B. beim äolisch gebildeten Schneverdinger Sandstein (DRONG et al. 1982).

Die von PRYOR (1971) vorgeschlagene marine Bildung dieser Sandsteine ist äußerst fraglich, da sie im wesentlichen auf Korngrößenanalysen beruht, doch Korngrößen allein sind nicht spezifisch für einen marinen Ablagerungsraum. Außerdem fehlen typische marine Sedimentstrukturen wie z.B. Rippeln oder Bioturbationen, Silt-Tonlagen und vor allem Fossilien.

Der Ablagerungsraum der Gesteine der Zone A wird ebenso wie für die Zonen B und C in einem relativ hochenergetischen Flußniveau gesehen. Die hohen Mächtigkeiten der Sandsteine im Gebiet des fränkischen Beckens (TRUSHEIM 1964) und des Werra-Fulda-Beckens bis in den Richelsdorfer Bereich hinein lassen darauf schließen, daß diese Ablagerungsgebiete mit hohen Mächtigkeiten tieferen Flußniveaus entsprechen als die Gebiete mit geringer Sedimentmächtigkeit wie der nördlichen Schlüchterner Mulde. Allerdings weisen auch die mächtigen Sandsteinfolgen, die hauptsächlich aus mega-kreuzgeschichteten Sandsteinen aufgebaut werden, noch keine typischen Sedimentstrukturen von mäandrierenden Flüssen auf (REINECK & SINGH 1980), sodaß es sich bei den Gesteinen der Zone A im wesentlichen um sehr schnell sedimentierte Absätze in "braided-river" Systemen und weniger um mäandrierende Flüsse handelt. Die mächtigen Sandsteine der Zone A werden als Sandbarren interpretiert, die am Rande des eigentlichen Flutkanals sedimentiert wurden, wie sich dies aus dem Faziesquerprofil von Ronshausen (Abb. 12) ergibt. Die Konglomerate in der Rinne von Iba (RICHTER 1941a) werden als "channel-lag-Sedimente" angesehen.

2.3.1.4 Bezug zur Mineralisation

Durch die Gliederung des Weißliegenden konnte eine praktisch verwertbare Grenzziehung zwischen dem Rotliegenden und dem Zechstein erreicht werden, die es ermöglicht, die Mächtigkeit des primär graugefärbten Gesteins unterhalb des Kupferschiefers zu bestimmen (Abb. 10). Innerhalb des Weißliegenden auftretende Rotfärbungen können so sicher als "Rote Fäule" und epigenetische Bildung erkannt werden, auf die im Rahmen der Metallisation im

Kapitel 4.3.3 näher eingegangen wird.

2.3.2 Kupferschiefer

Die beiden Arbeitsgebiete im nördlichen und südlichen Teil des Werra-Fulda-Beckens liegen im Randbereich des Kupferschiefer - meeres, d.h. daß die randliche Faziesentwicklung wesentlich weiter verbreitet ist als die hochmarine. In diesem Bereich lassen sich nun allerdings wieder verschiedene Faziestypen des Kupferschiefers aushalten, die eine nähere Bearbeitung der Randfaziestypen notwendig machen, um seine paläogeographische Bedeutung und Beziehung zur Mineralisation aufzuzeigen.

Der Kupferschiefer ist im gesamten mitteleuropäischen Zechsteinmeer verbreitet, mit der Ausnahme von Inseln über Kristallingebieten oder in Bereichen von Sandbarren des Weißliegenden, die Untiefen während der Zeit der Kupferschiefersedimentation waren. Die Liegendgrenze des Kupferschiefers wird mit dem ersten Einsetzen durchgehender, schwarzer, bituminöser Tonlagen gezogen. Die Obergrenze zum Zechsteinkalk bilden bioturbate Strukturen, wodurch sich das Ende euxinischer Bedingungen abzeichnete, unter denen kein Bodenleben mehr möglich war.

Im Kupferschiefer sind regional zwei Faziestypen zu unterscheiden, die hochmarine Beckenfazies und daneben eine Rand- und Schwellenfazies (JORDAN 1969). Allerdings handelt es sich auch bei der hochmarinen Fazies um Schelfbildungen.

Aus dem Bereich der Oberharz-Taunus-Schwelle beschreibt PAUL (1982) eingehend die Rand- und Schwellenfazies des Kupferschiefers, JORDAN (1969) die lithologische Entwicklung in Thüringen, KOWALCZYK & PRÜFERT (1978) bearbeiten die Kupfermergel bzw. die Kupferletten im Bereich der Wetterau, RICHTER-BERNBURG (1950), KULICK (1968) die Entwicklung am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges. Ölsner (1959) und FÜCHTBAUER (1968) schätzen die Dauer der Ablagerung des Kupferschiefers auf 10^4 und 10^5 Jahre. Nach PAUL (1982) ist ein Wandern der Kupferschieferfazies von Osten nach Westen und damit eine Diachronie der Ablagerungen, wie sie VISSCHER (1971) angibt, nicht wahrscheinlich.

Die Ausbildung des Kupferschiefers ist nur in der hochmarinen Fazies überregional einheitlich. Auf diese Fazies gründen sich auch die meisten Gliederungsversuche, die eine vertikale Unterteilung des Kupferschiefers zum Ziel hatten. Die Bearbeitung des Kupferschiefers im Werra-Fulda-Becken zeigt dagegen, daß im randnahen marinen Bereich eine starke fazielle Differenzierung des Kupferschiefers

erfolgte (Abb. 13), die bei den Gliederungen, die im tieferen marinen Bereich aufgestellt wurden, nicht genügend berücksichtigt werden konnten.

Die fazielle Unterteilung der Randfaziestypen des Kupferschiefers ist Gegenstand dieser Bearbeitung, da gerade in der Randfazies des Kupferschiefers die wirtschaftlichen Erzlagerstätten auftreten.

2.3.2.1. Beckenfazies des Kupferschiefers (feinlaminierter Typ)

Der Kupferschiefer der Beckenfazies ist ein typisches, euxinisches Sediment, ein durch Karbonatlagen laminierter, bituminöser, siltiger Mergel (PAUL 1982). Spurenfauna und anderes benthonisches Leben fehlen völlig. Da die Schwarzschieferfazies das gesamte Becken von England bis Polen durchzieht, ist diese konstante Faziesentwicklung nur mit einer sehr stabilen Schichtung des Meerwasserkörpers, bedingt durch geringe Unterschiede in Salinität und Temperatur zu erklären (PAUL 1982).

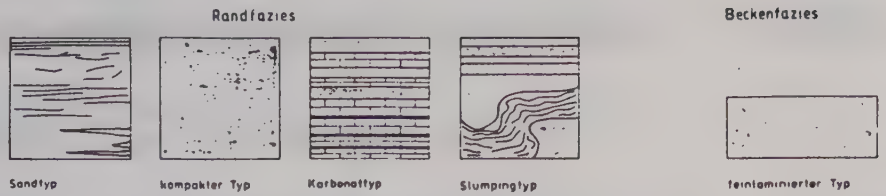
Aus dem Gebiet der DDR stammen die gebräuchlichsten Gliederungen des Kupferschiefers. Heute wird als Grundlage der Lithostratigraphie ein zyklischer Aufbau des Kupferschiefers erkannt, der die alte fünfteilige Gliederung in Feine Lette, Grobe Lette, Kammschale, Schieferkopf und Schwarze Berge verbessert hat. Die Übertragung der alten Feingliederung Mansfelds auf andere Gebiete, wie Richelsdorf, war unbefriedigend, sodaß dort lokale, weniger bekannte stratigraphische Begriffe benutzt wurden (BEYSCHLAG 1920).

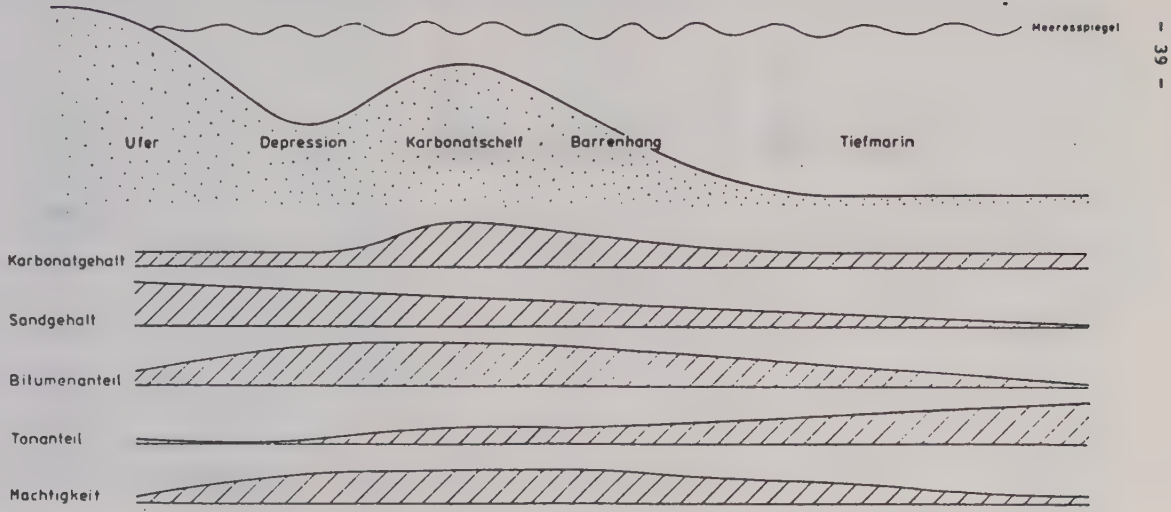
Der Kupferschiefer des Mansfelder Reviers ist durch drei Abfolgen zyklisch aufgebaut (FREESE & JUNG 1965). Jede Sequenz führt einen gröberen klastischen Anteil an der Basis und einen feineren klastischen Anteil am Top. Insgesamt sowie auch innerhalb von jedem Zyklus nimmt der Karbonatgehalt zum Hangenden hin zu. Diese zyklische Ausbildung des Kupferschiefers ist im Bereich der Beckenfazies wahrscheinlich über den größten Teil der Kupferschieferverbreitung nachweisbar. Auch überregional ist es deshalb sinnvoll, diese zyklische Dreigliederung nachzuvollziehen, da sie auf Faziseinflüsse beruht, die nicht lokaler Natur sind.

In der Beckenfaziesentwicklung ist der Kupferschiefer nur geringmächtig (ca. 30 - 60 cm) und weist als charakteristisches Merkmal eine feine Lamination auf, sodaß dieser Kupferschiefertyp hier als feinlaminierter Faziestyp bezeichnet wird (Abb. 13, 14).

Abb 13 Klassifizierung des Kupferschiefers nach faziellen Kriterien

Fig 13 Classification of the Kupferschiefer by facies-types





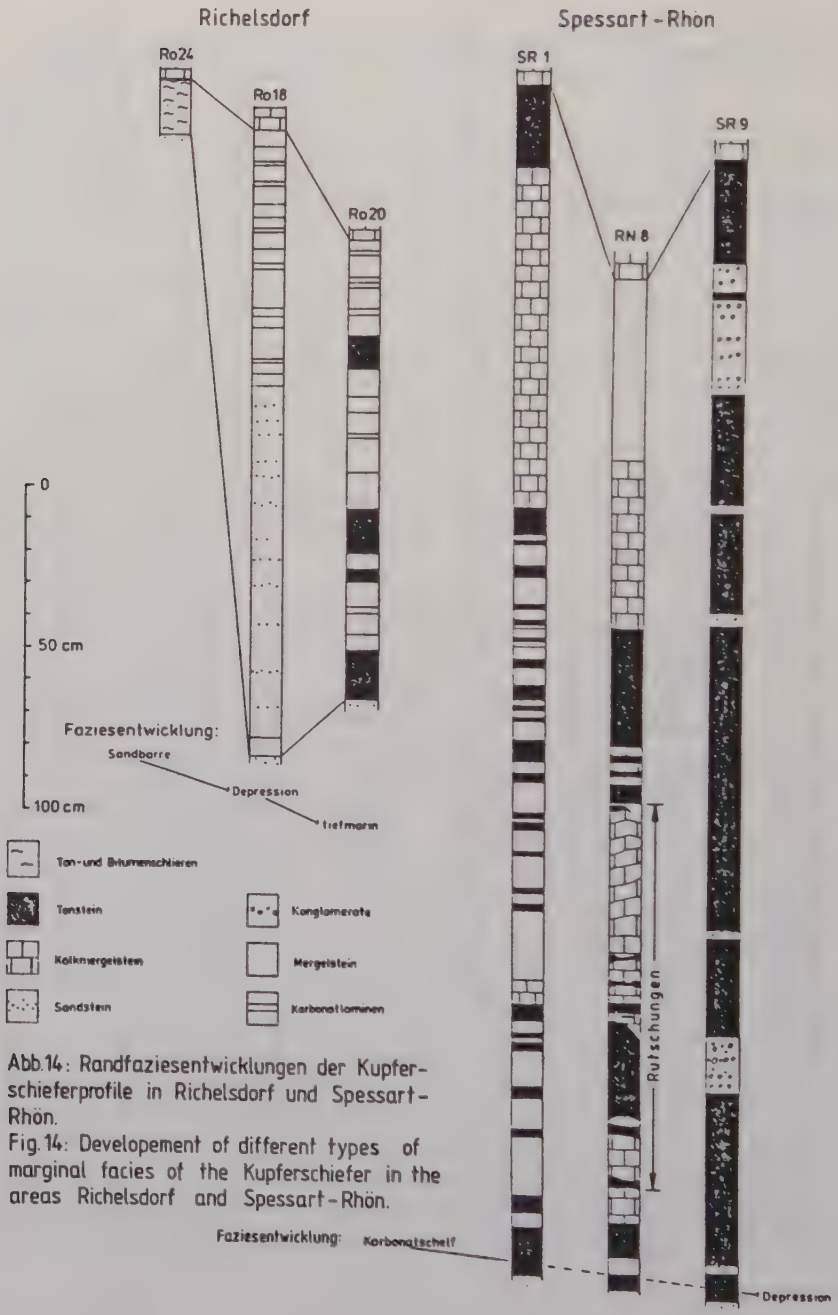


Abb.14: Randfaziesentwicklungen der Kupferschieferprofile in Richelsdorf und Spessart-Rhön.
Fig.14: Developement of different types of marginal facies of the Kupferschiefer in the areas Richelsdorf and Spessart-Rhön.

Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen der hochmarinen und küstennäheren Entwicklung des Kupferschiefers ist der Karbonatgehalt. Der Karbonatgehalt ist im hochmarinen Bereich grundsätzlich geringer als in der Randfazies (JORDAN 1969). Die Werte, die von WEDEPOHL (1964) angegeben werden, erreichen Maxima von 30% $CaCO_3$. Im Randbereich können die Karbonatgehalte wesentlich höher sein. PAUL (1982) gibt für die Randbereiche der Eichsfeldschwelle im Harzgebiet sogar 70 - 90% $CaCO_3$ an.

2.3.2.2. Randfaziestypen des Kupferschiefers

Die Randfaziestypen des Kupferschiefers unterscheiden sich deutlich von der "normalen", hochmarinen Entwicklung des Kupferschiefers. Im allgemeinen ist die Mächtigkeit des Kupferschiefers wesentlich größer als in der hochmarinen Entwicklung; die Ausnahme ist hier allein eine ufernahe-, bzw. Untiefenfazies, wo aufgrund der Strömungsenergie im Oberflächenbereich des Meeres eine Ausbildung des Kupferschiefers verhindert wird (PAUL 1982).

2.3.2.2.1. Spessartfazies (Karbonattyp)

Im Randbereich des Zechsteinmeeres ist eine Veränderung des Kupferschiefers besonders in Hinsicht auf den Karbonatgehalt zu verzeichnen. Als auffälliges Beispiel stellt sich an der Basis des Kupferschiefers eine Karbonatbank ein, die als Mutterflöz, bzw. Mutterkalk am Harzrand (HERRMANN 1956), in Thüringen (JORDAN 1969) dem Westrand des Frankenwaldes und im Gebiet der Sudeten (EISENTRAUT 1939)bekannt ist. Im Gebiet der Sudeten wird diese Karbonatbank als Grenzdolomit bezeichnet (BLASCZYK 1981) und am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges als Productuskalk (KULICK 1968).
Die Randfaziesbedingungen sind im Spessartgebiet besonders ausgeprägt und schon lange bekannt. Ihre Produkte wurden z.B. als Kupferletten oder Kupfermergel (KOWALCZYK & PRÜFERT 1974) beschrieben.
Die regionale Bedeutung der Randfazies im Kupferschiefermeer hat sich allerdings erst durch umfangreiche Tiefbohrungen im südlichen Werra-Fulda-Becken erwiesen.

Aufgrund des erhöhten Karbonatanteils erreicht der Kupferschiefer im Spessartvorland sehr hohe Mächtigkeiten, die bei über vier Metern liegen können (Abb. 14, 15).

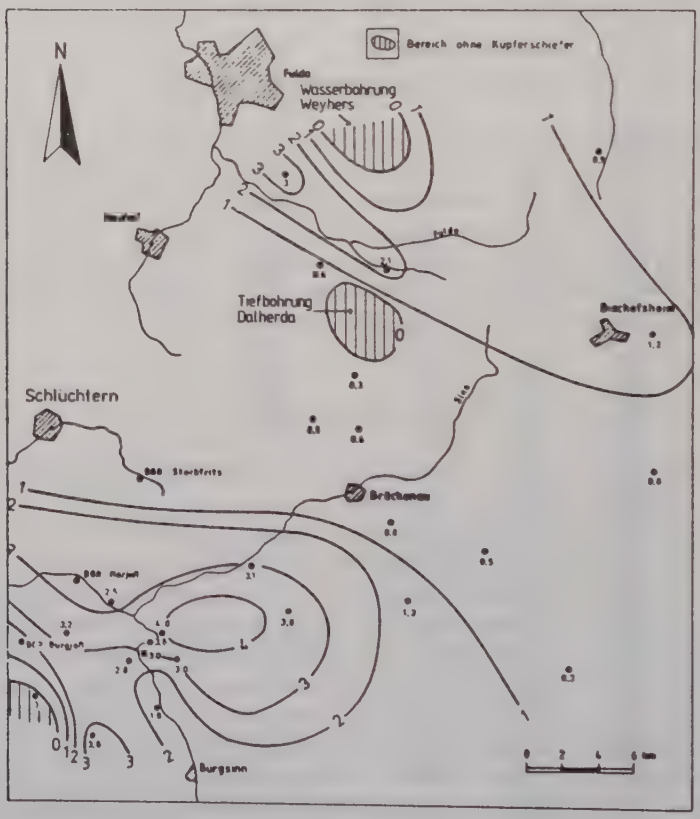


Abb.15: Mächtigkeit des Kupferschiefers im Spessart-Rhön-Gebiet
Fig.15: Thickness of the Kupferschiefer in the Spessart-Rhön-area

Der Kupferschiefer in Spessartfaziesentwicklung ist eine Wechsellagerung von Mergel- und Kalksteinbänken, zwischen denen Schwarzschieferlagen eingeschaltet sind. Jede Schwarzschieferbank für sich ist mit der Faziesentwicklung im tieferen Beckenbereich vergleichbar. Die Lamination des Kupferschiefers in Beckenfazies wird durch Karbonatlaminen hervorgerufen, die dann in der Randfaziesentwicklung zu mehreren cm- bis dm-mächtigen Lagen anschwellen können, und so zur Karbonat- und Schieferwechsellagerung führen. Die Karbonatlaminen setzen sich aus mehreren Mikron großen Partikeln zusammen, die als lagige Anordnung die mikritisch-karbonatische Feinschichtung hervorrufen. Daneben treten Karbonatlinsen auf, die den hohen Karbonatgehalt des Kupferschiefers überhaupt hervorrufen. Fossilien sind nur selten nachzuweisen, es handelt sich dann hauptsächlich um Foraminiferen.

Der Hauptanteil des Karbonats ist Calcit, eine Dolomitdominanz, wie sie für weite Bereiche der DDR festgestellt werden konnte (JUNG & KNITZSCHKE 1976), kann im Werra-Fulda-Becken bisher nicht bestätigt werden. Das Karbonat ist vermutlich nicht durch chemische Fällung, sonderen duch Algentätigkeit, bzw. durch Zooplankton konzentriert worden. Gerade in exponierten Randpfannen und Rinnen kann ein gehäuftes Auftreten von Fossilien und auch von hohen Bitumengehalten beobachtet werden (PAUL 1982), obwohl in einem solchen Milieu eher chemische Sedimente zu erwarten wären.

Neben den Karbonaten kann die Lamination des Kupferschiefers auch duch Silt- und Sandsteinlagen hervorgerufen werden. Diese Wechsellagen treten besonders häufig an der Basis des Kupferschiefers auf, so daß sie sich mit den Sandsteinen des Weißliegenden verzahnen. Diese Verzahnungsfazies ist im Barrenbereich von regionaler Bedeutung und wird hier als gesonderter Faziestyp besprochen. Das Gleiche gilt für den Bereich des Vorsudetischen Blocks, wo OSZCZEPALSKI (1980) ebenfalls eine sandreiche Kupferschieferfazies aushält.

Der Trend in der Mächtigkeitsentwicklung des Kupferschiefers ist im Spessart-Rhön-Gebiet Ost-West gerichtet (Abb.15).

Im Bereich des westlichen Vorlandes der Rhön liegt der Kupferschiefer noch in hochmariner Faziesausbildung vor (Abb.16). Nach Westen zu wird der Anteil und die Mächtigkeit einzelner Karbonatlagen im Kupferschiefer immer größer, bis schließlich der Anteil der Karbonate die des bituminösen Schiefers völlig übertrifft (Abb.14, Bohrung SR1).

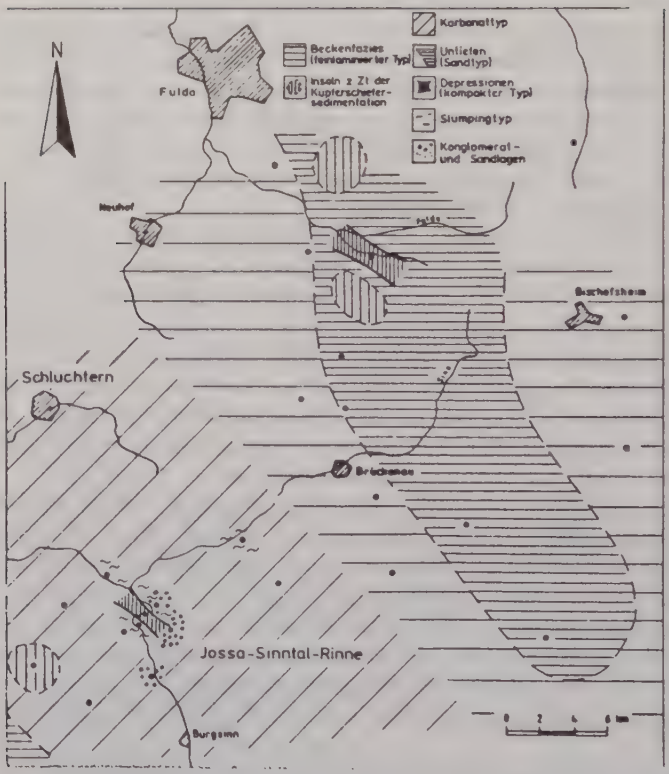


Abb. 16: Faziestypen des Kupferschiefers im Werra-Fulda-Becken
Fig. 16: Fazies types of the Kupferschiefer in the Spessart-Rhön area

Im nördlichen Werra-Fulda-Becken steht der Kupferschiefer in Randfaziesentwicklung in den Steinbrüchen von Cornberg und Gilfers-

hausen an, allerdings in geringmächtiger Ausbildung, die bereits als Übergang zur hochmarinen Beckenfazies interpretiert werden kann. Diese Profile sind dem von Förtha im benachbarten Thüringen (JORDAN 1969) vergleichbar, das JORDAN (1969) als mergelig-kalkige Randfazies beschreibt.

2.3.2.2.2. Verzahnungsfazies (Sandtyp)

In Bohrungen aus der Südrhön und vor allem aus dem Gebiet von Ronshausen ist Kupferschiefer bekannt geworden, der aus einer schlierig-linsigen bis ebenen Feinschichtung besteht, in der sich Sandlagen mit schwarzen, bituminösen Tonlagen in der Profilabfolge verzahnen. Die Mächtigkeit der Lamination liegt im mm-Bereich; im Extremfall ist eine Sand-Tonflaserschichtung (REINECK & WUNDERLICH 1968) entwickelt (Abb. 14, Bohrungen RO 18, 24).

Die Mächtigkeit des Kupferschiefers des Verzahnungstyps kann mehr als einen Meter erreichen, oder aber nur im Bereich von wenigen cm liegen (Abb. 14, 17).

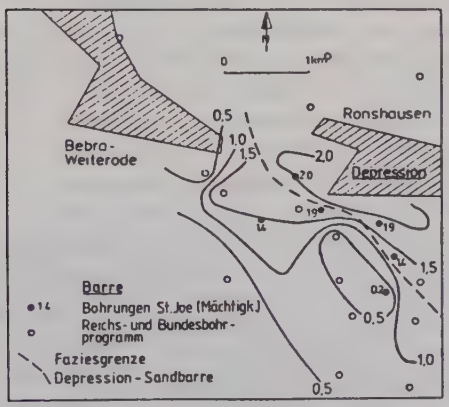


Abb. 17: Mächtigkeit des Kupferschiefers bei Ronshausen (in m)
Fig. 17: Thickness of the Kupferschiefer in the Ronshausen area (in m)

Nach persönlicher Mitteilung (MESSER, OSZCZEPALSKI) ist dieser Faziestyp in Richelsdorf ebenso wie im sudetischen Vorland weit verbreitet, wo er als charakteristische Fazies der "sedimentären

Roten Fäule" anzusehen ist. Nach RENTZSCH (1965) gilt das gleiche für das Mansfeld-Sangerhäuser Revier, wo im Bereich der "sedimentären Roten Fäule" ein erhöhter Fossilreichtum, sowie Sandanteile festzustellen sind. Diese primär unter oxidierenden Bedingungen gebildeten, rotgefärbten Gesteine sollten aber nicht mit der epigenetisch gebildeten Rote Fäule-Fazies verwechselt werden (Kapitel 4.3.3.).

Im Gebiet südlich von Ronshausen ist die Verzahnungsfazies im Kupferschiefer an einen Sandkörper des Weißliegenden gebunden. Durch das engmaschige Bohrnetz und die damit verbundene detaillierte Kenntnis über die lithologischen Zusammenhänge ist die fazielle Abhängigkeit der Ausbildung des Kupferschiefers zu der darunter liegenden Barre sehr naheliegend (Abb. 14, 17).

In der Rhön ist die Verzahnungsfazies in einer Bohrung nachgewiesen worden, ebenfalls in einem Bereich mit sehr hoher Weißliegendmächtigkeit (RN 16), was den Verhältnissen bei Ronshausen sehr nahe kommt. Durch das weitmaschige Bohrnetz im Spessart-Rhön-Gebiet ist die Beziehung des Kupferschiefers zu Barren des Weißliegenden jedoch nicht so eindeutig wie in Richelsdorf nachweisbar. Ein gewisser Sand- und Siltanteil ist durchgehend sehr weit im Kupferschiefer verbreitet, allerdings vornehmlich im basalen Teil des Kupferschiefers (Abb. 14; RO 18).

Die detritischen Komponenten werden fast ausschließlich von Quarz gebildet, der in Feinsand- bzw. Siltfraktionen vorliegt und zu Lagen zusammentritt, die dann die Lamination hervorrufen. Im Extremfall ist das Mengenverhältniss umgekehrt, so daß dann ein Sandstein lediglich noch bituminöse Tonschlieren aufweist.

Da im Fall der Südrhön wie auch bei der Barre von Ronshausen "Inseln" des basalen Zechsteins nach Stand der Kentnisse relativ weit entfernt liegen (LEIFELD & KULICK 1981), nämlich auf der Oberharz-Taunus-Schwelle, bzw. auf dem Rhönblock, ist anzunehmen, daß die Sandsteinlagen weniger auf eine fluviatile, terrigene Zufuhr zurückzuführen sind, sondern mehr auf meeresströmungsbedingte Umlagerungen des unterlagernden Weißliegendsandsteins.

2.3.2.2.3. Depressionsfazies (Kompakter Typ)

In Bereichen der Randfazies, die als Depressionen interpretiert werden, tritt ein Kupferschiefertyp auf, der als Depressionsablagerung folgende Merkmale aufweist:
Die Mächtigkeit des Kupferschiefers erreicht mehrere Meter, ist allerdings im Gegensatz zum karbonatreichen Spessarttyp nicht auf eine Einschaltung von Karbonatbänken zurückzuführen. Die Mächtigkeitserhöhung erfolgte durch die verstärkte Sedimentation von Tonen. Einlagerungen von Konglomerat- und Sandsteinlagen können auftreten, so daß ein Übergang zu einer weiteren Randfazies, dem Slumpingtyp, besteht.

Auffällig ist auch der Rückgang der Lamination. Derart unstrukturierter Kupferschiefer ist besonders in der Bohrung RN 2 (Abb. 16) ausgebildet. Mit feinen Sandsteinlagen wechselgeschichteter Kupferschiefer ist in der Depression zu finden, die unmittelbar nördlich der Weißliegendbarre bei Ronshausen vorgelagert ist (Abb. 17).

Der Depressionstyp des Kupferschiefers kann sowohl in Rinnen des kristallinen Untergrundes ausgebildet sein als auch in Depressionszügen zwischen den Weißliegendbarren (RO 18, 19, SR 9).

2.3.2.2.4. Slumpingfazies

Aufgrund der regionalen Nachweisbarkeit von Slumpingerscheinungen im Kupferschiefer erscheint es sinnvoll, einen Slumpingtyp gesondert auszuhalten, der besonders im zentralen Teil der Schlüchterner Mulde ausgebildet ist.

Zwischen den gerutschten Kupferschieferpartien treten Konglomerat- und Sandsteinlagen auf, die zum Teil nicht mit verfältelt wurden, was auf mehrmalige, sich wiederholende Rutschungen zur Zeit der Kupferschiefersedimentation schließen läßt (Abb. 14, RN 8).

Prinzipiell ist der Slumpingtyp mit dem Depressionstyp verwandt, da beide Typen in, bzw. am Rand von Depressionen zur Ablagerung kamen. Voraussetzung für den Slumpingtyp ist eine gewisse Reliefenergie, die zum Kollaps des Sedimentstapels führt.

Als Ursache der Slumpingbildung werden tektonische Bewegungen angenommen. Es ist nicht zu vermuten, daß die Strömungsaktivität eines Schwarzschiefermeeres stark genug war, Konglomeratlagen im Schwarzschiefer durch Umlagerungen hervorzurufen. Bei einer fluviatilen Beeinflussung wäre eine regionale Verfolgbarkeit von Sandstein- bzw. Konglomerathorizonten zu erwarten, deren Mächtigkeiten dann in Richtung auf das Liefergebiet hin zunehmen müßten. Dies ist im Bereich der Schlüchterner Mulde nicht zu belegen, da die Slumpingerscheinungen gehäuft, aber isoliert nur im Bereich einer Rinne auftreten, die hier als Jossa-Sinntal-Rinne bezeichnet wird (Abb. 16).

2.3.3. Zechsteinkalk

Die Bearbeitung des Zechsteinkalkes ist für das Verständnis der Mineralisation des basalen Zechsteins wesentlich, da ein Teil der Mineralisation sowie die "Rote Fäule" im Zechsteinkalk vorkommen.

Die Liegendgrenze des Zechsteinkalkes bildet eine Bioturbationszone (PAUL 1982), die das Ende der euxinischen Bedingungen kennzeichnet, unter denen der Kupferschiefer abgelagert wurde. Die Obergrenze des Zechsteinkalkes ist mit dem Einsetzen der Anhydritabscheidung gekennzeichnet, die zum Werra-Anhydrit überleitet.

Für das mitteldeutsche Zechsteinbecken unterscheidet RICHTER (1941a) eine östliche "Thüringer" und eine westliche "Hessische" Fazies. In der Thüringer Fazies liegt der Zechsteinkalk zwischen der Böhmisch-Sächsischen Masse und der Hunsrück-Oberharz-Schwelle als geringmächtiger, wohlgebankter, mergeliger Kalkstein vor, während die Hessische Fazies durch wulstig-schichtige, dünne Mergellagen enthaltende, stinkende Kalke gekennzeichnet ist (JANKOWSKI & JUNG 1962).

Im Bereich der Mansfelder Mulde wird von den Bergleuten zwischen "Dachklotz" (0,15 m), "Fäule" (1,25 m) und "Zechstein" (4 m) unterschieden. Die Mächtigkeitsangaben sind Durchschnittswerte nach FULDA (1930). Der Dachklotz (KAUTZSCH 1953) ist sehr kalkreich, die Fäule dagegen mergeliger und der Zechstein ist ein hellgrauer Kalkstein, in dessen oberem Bereich vielfach Oolithe auftreten (JANKOWSKI & JUNG 1962). Die hessische Faziesentwicklung mit Stinkkalken ist im Bereich des Rheinischen Schiefergebirges ausgebildet (RICHTER 1941a, KULICK 1968). Im Arbeitsgebiet ist diese Fazies lediglich im oberen Teil des dolomitisch ausgebildeten Zechsteinkalkes im Gebiet der westlichen Schlüchterner Mulde vertreten. Diese Karbonate werden nach KOWALCZYK & PRÜFERT (1978) als "Schwellendolomite"

bezeichnet. Im Südhessischen-Nordbayerischen Bereich treten sehr mächtige (mehr als 20 m) Lettenfolgen auf, die eine starke kontinentale Beeinflussung aufweisen und aus Mergelsteinen bis Kalksteinen mit tonig-siltiger Feinschichtung aufgebaut sind. Diese Entwicklung bezeichnet DITTRICH (1966) als "Fränkische" Fazies. Der hohe klastische Anteil im Zechsteinkalk, sowie seine Mächtigkeit hat hier zu vielen stratigraphischen Fehlinterpretationen geführt (DITTRICH 1966). Diese Fazies wird hier als Spessart-Fazies bezeichnet.

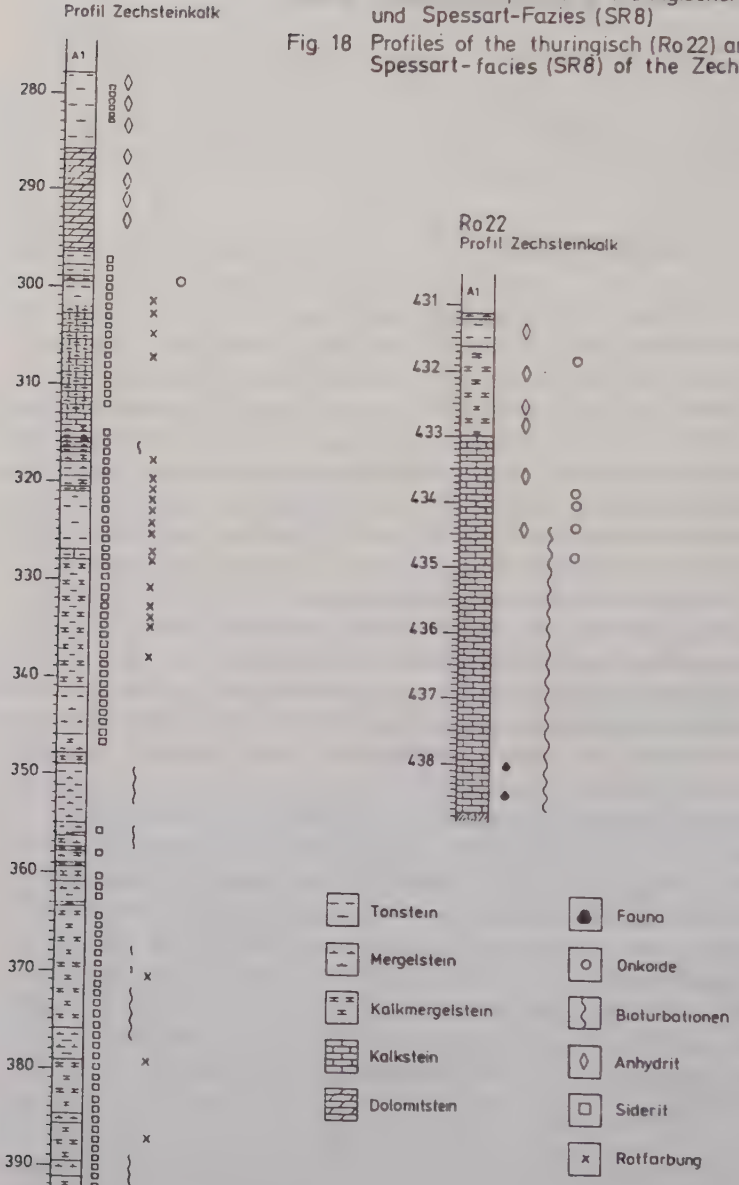
2.3.3.1. Thüringer Fazies

Unter Thüringer Fazies des Zechsteinkalkes wird die weitverbreitete Entwicklung des Zechsteinkalkes beschrieben, die TRUSHEIM (1964) als "Zechsteinkalk" des südlichen Werratroges und fränkischen Beckens ausgliedert. Diese Beckenfazies des Zechsteinkalkes entspricht der kontinent-fernen, marinen Ausbildung, die im wesentlichen einem tieferen Ablagerungsraum als der Hessischen und Spessart-Fazies entspricht. Die Mächtigkeit des Zechsteinkalkes mit weniger als 10 m ist relativ gering, eine Mächtigkeitszunahme erfolgt in Richtung auf die Hochzonen (DIETRICH 1965). Die Faziesentwicklung ist durch das Überwiegen von Mergelkalken mit flaserig-schlieriger Textur gekennzeichnet.
Diese typische Ausbildung der Beckenfazies ist im nördlichen und zentralen Werra-Fulda-Becken vertreten (Abb. 18; RO 22). Im Gebiet der Schlüchterner Mulde und im Bereich der westlichen Oberharz-Taunus-Schwelle geht diese Beckenfazies in die Spessart-Fazies, bzw. die Hessische Fazies über.

Die Profilabfolge beginnt mit einem stärker karbonatischen Fuß, der zum größten Teil der Bioturbationszone über dem Kupferschiefer entspricht. Darauf folgen karbonatärmere Mergel und Tonpartien. Onkoidlagen sind besonders in mittleren und oberen Partie des Zechsteinkalkes eingeschaltet. Den Top des Zechsteinkalkes bildet eine Wechsellagerung aus Kalkmergel- und Mergelsteinen. Hier tritt auch gehäuft Gips und Anhydrit auf, so daß bereits der Übergang in das evaporitische Milieu des Werra-Anhydrits angekündigt wird. Makrofauna ist sehr selten, äußerst sporadisch sind Bivalven zu finden (Abb. 18).

Abb. 18 Zechsteinkalkprofile in thuringischer (Ro 22) und Spessart-Fazies (SR8)

Fig. 18 Profiles of the thuringisch (Ro22) and Spessart-facies (SR8) of the Zechsteinkalk



2.3.3.2 Spessart-Fazies

Im Gegensatz zur Thüringischen Fazies ist die Faziesentwicklung des Zechsteinkalkes im Gebiet des östlichen Spessarts und der Schlüchterner Mulde als Spessart-Fazies bezeichnet worden.

Der grundsätzliche Unterschied zur Thüringischen Fazies liegt in der Mächtigkeit der Schichtfolge, die über 100 Meter erreichen kann (Abb. 18, 19).

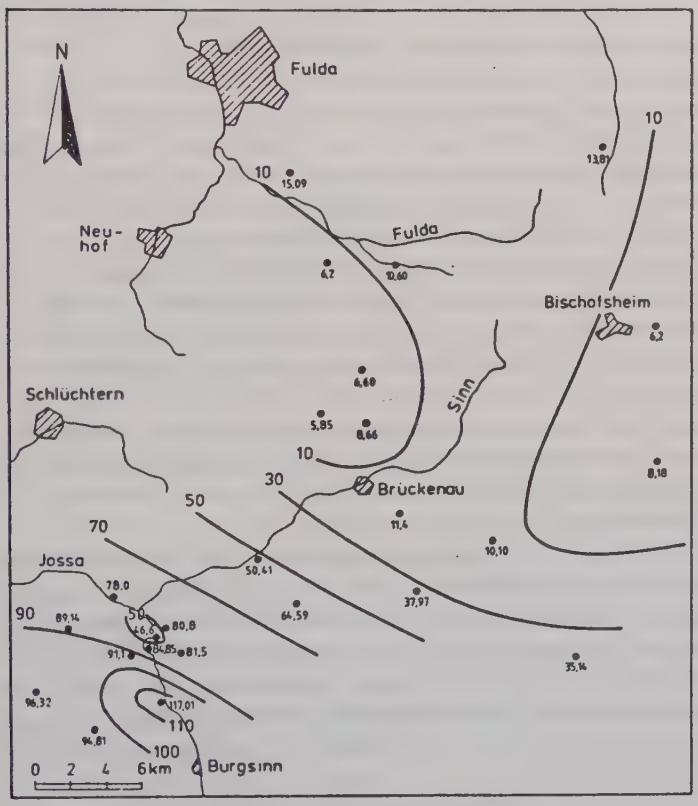


Abb. 19: Mächtigkeit des Zechsteinkalkes
Fig. 19: Thickness of the Zechsteinkalk

Die größte Mächtigkeit wird von einer starken Zunahme detritischen Materials verursacht, was auf kontinentale Einflüsse zurückge-

führt wird. Die kontinentalen Einflüsse äußern sich in einer intensiven Wechsellagerung aus Ton- und Siltsteinen, gelegentlich sind Feinsandsteinlagen mit mehr oder weniger starken mergeligen bis kalkigen Partien eingeschaltet. Die Schichten sind überwiegend im cm-Bereich wechselgelagert und weisen eine kleinzyklische Tendenz im dm-Bereich auf. Gradierungen sind die häufigsten Sedimentationsmerkmale, wobei im allgemeinen stärker karbonatische Partien den Top eines Kleinzyklusses bilden. Die Schichtung ist vorwiegend eben bis flach einfallend, Rippel- und Setzungsmarken sind nur gelegentlich nachzuweisen.

Ein Fazieswechsel innerhalb der Profilabfolge ist bis auf den oberen Bereich des Zechsteinkalkes nicht zu erkennen, wo die Sulfate das Einsetzen evaporitischer Bedingungen kennzeichnen.

Als Besonderheit treten Schillagen auf, wie in den Bohrungen SR 1 und SR 6, die als Sturmlagen gedeutet werden. Riffe, wie TRUSHEIM (1964) von der Rhön beschreibt, sind nirgendwo nachgewiesen worden. Besonders zu erwähnen ist das Auftreten von Sideritlagen und Rothorizonten, die in typischer Weise in der Spessart-Fazies auftreten. Im Richelsdorfer Gebiet wurden solche Rotfärbungen nur in der Bohrung 16 (Bundesbohrprogramm) nachgewiesen.

Der untere Profilbereich des Zechsteinkalkes besteht hauptsächlich aus Mergel- bis Kalkmergelsteinen, worauf im oberen Teil der Profile Wechsellagerungen aus Dolomit-Kalk- und Tonsteinen auftreten.

Ebenso wie in der Beckenfazies sind Anhydrit und Gips im oberen Profilabschnitt vertreten. Im oberen Profilbereich können gehäuft Onkoide (FLÜGEL & KIRCHMAYER 1962) auftreten, die eindeutige Flachwasserindikatoren, zum Teil sogar für intratidale Bereiche, sind. Die Onkoide sind mm-große, lagig aufgebaute Komponenten. Für ein extremes Flachwassermilieu sprechen auch Hohlraumgefüge und Rindenkörner neben Gips und Dolomit.

Die im unteren Profilbereich auftretenden Dasycladaceen sind mit einiger Sicherheit eingeschwemmt, zeigen aber allgemein normale Salinität und hohe Wassertemperaturen an. Für normalmarine Bedingungen spricht ebenfalls sehr eindeutig das häufige Auftreten von Echinodermenresten.

2.3.3.3. Rothorizonte im Zechsteinkalk

Rotfärbungshorizonte treten mit unterschiedlicher Farbintensität, die durch Hämatit hervorgerufen wird, in allen Zechsteinkalkprofilen der Bohrungen der Schlüchterner Mulde bis hin zum Westrand des Rhönblocks auf. Der Zechsteinkalk ist dabei nicht durchgehend rot gefärbt, sondern zwischen einzelnen roten Bändern sind graue Zonen eingeschaltet (Abb. 18. 20).

Die Rotfärbung der Sedimente ist zu 50 - 100% an die Tonlagen fixiert. An zweiter Stelle steht der Mergel mit 10 - 30% Anteil. Kalkmergel und Kalklagen zeigen nur selten eine Rotfärbung.

Der Abstand der Rotfärbungsuntergrenze zum Kupferschiefer (Abb. 20) beträgt 4,5 - 30 m. Die Rotfärbungen des Zechsteinkalkes erreichen also nie den Kupferschiefer und haben auch keinen Einfluß auf die Mineralisation. Es handelt sich deshalb mit großer Sicherheit nicht um Rote Fäule.

Das SW-NE-Profil (Abb. 20) zeigt, daß der Abstand zwischen Ober- und Untergrenze der Rotfärbungslagen generell nach Nordosten hin abnimmt, wie auch die Mächtigkeit des Zechsteinkalkes. Dies ließe sich mit einer kontinentalen Einströmung vom südwestlich gelegenen Spessartblock erklären, wobei der fluviatile Einfluß nach Nordosten hin immer geringer wird.

Außerdem sind die rotgefärbten Horizonte stets scharf begrenzt und lagig, wobei die Untergrenze oft deutlicher als die Obergrenze ausgebildet ist. Schichtdurchschlagende Strukturen sind nicht zu beobachten. Die Rotfärbungshorizonte erscheinen oft im unmittelbaren Wechsel mit Sideritlagen. Dies läßt darauf schließen, daß es sich um sedimentäre Bildungen handelt, die im oxidierenden Milieu als Rotsediment und ohne Beteiligung von Sauerstoff im reduzierten Bereich als Siderit abgelagert wurden.

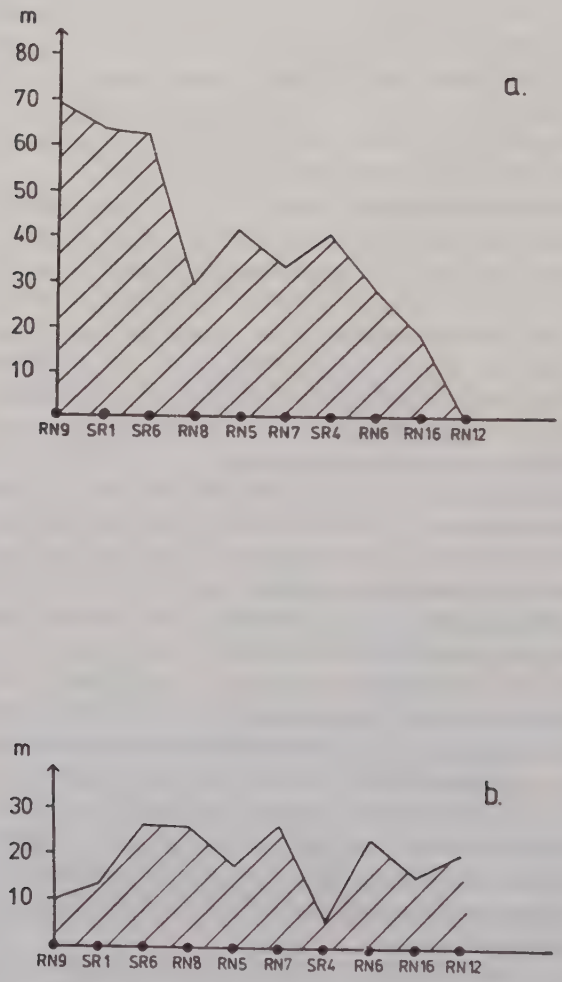


Abb. 20: Gesamtmächtigkeit von rotgefärbten Zechsteinkalkpartien (a), sowie dem Abstand ihres ersten Auftretens oberhalb der Basis des Zechsteinkalkes (b)

Fig. 20: Total thickness of red-coloured portions within the Zechsteinkalk (a) and the height of the first redcoloured layer above the base of the Zechsteinkalk (b)

3. Paläogeographische Entwicklung

Die Kupfervererzung des basalen Zechsteins tritt in Gesteinen auf, die eine spezifische Position im Schichtverband haben. Der Kupferschiefer ist das feinklastische basale Tonsediment einer evaporitischen Abfolge, die auf eine Serie terrestrischer Rotsedimente folgt. Zur Zeit des basalen Zechsteins fand demnach ein wesentlicher Fazieswechsel statt, in dessen Zusammenhang auch die Buntmetallmineralisation zu sehen ist. Deshalb muß auf die paläogeographische Gestaltung des Werra-Fulda-Beckens als ein entscheidender Faktor der Lagerstättengenese an der Wende Rotliegend/Zechstein eingegangen werden.

Die paläogeographische Interpretation ergibt sich aus der faziellen Bearbeitung der Gesteine des Oberrotliegenden bis zum Zechsteinkalk. Als Hauptursache der Beckengestaltung und damit der faziellen Veränderung ist letztlich die tektonische Aktivität anzusehen, die zur Verstellung von Krustenteilen führte. Dieser Zeitraum war die Übergangsphase vom Ende der varistischen Orogenese zur postorogenen saxonischen Bruchtektonik.

3.1. Tektonisch bedingte Becken- und Schwellenkonfigurationen

Die Rotliegendtröge Mitteleuropas entwickelten sich in varistischer Richtung (FALKE 1971). Bereits am Ende des Oberrotliegenden waren aber die Hochgebiete und sedimentären Becken zum Teil nicht mehr varistisch streichende Strukturen (LEIFELD & KULICK 1981, SCHUMACHER et al. 1984). Es treten hier bereits sehr stark die rheinischen und eggischen Richtungen hervor, so daß sich zur Zeit des Oberrotliegenden bereits saxonische Strukturen nachweisen lassen.

RICHTER (1941a) beschreibt die Bewegungen der "Thüringischen Phase" und KAESTNER (1969) vermutet im östlichen Werra-Kali-Gebiet die Entwicklung einer "erzgebirgisch" streichenden Untiefe zur Zeit des Werra-Zyklus. SCHRÖDER (1976) erkennt in den erzgebirgisch verlaufenden Störungszonen Hessens und Bayerns ebenfalls permische Bewegungen. Die hier zu betrachtenden Schollenverstellungen werden im Sinne von STILLE (1910) als zur "saxonischen Tektonik" gehörig angesehen; eine Bruchtektonik,

die im wesentlichen vertikale Bewegungen aufwies. Unter saxonischer Tektonik ist ein "germanotyper" Bruchfalten- und Schollengebirgsbau zu verstehen, der das nachvaristische außeralpine Europa kennzeichnet (LAEMMLEN 1970).

Zwischen der varistischen orogenen Faltungstektonik und der saxonischen Bruchtektonik ist als eine weitere Erscheinung der tektonischen Spätphase von Orogenen die Bildung von konjugierten Scherzonen eingeschaltet (DRONG et al. 1982). Diese konjugierten Scherbrüche sind in ganz Mitteleuropa nachzuweisen. Im Bereich der intramontanen Rotliegendtröge biegen die Scherbrüche von einer NNW-Richtung im norddeutschen Becken auf eine NW-Richtung um (DRONG et al. 1982). Mit der Anlage konjugierter Scherbrüche kommt es neben der großflächigen Rotliegendbeckenbildung zur Bildung von schmäleren Rotliegendgräben, wie z.B. dem Schneverdinger Graben (DRONG et al. 1982).

Als Ergebnis der Tiefbohrungen lassen sich auch im Werra-Fulda-Becken Rotliegendgräben vermuten, die als Resultat konjugierter Scherzonen aufgefaßt werden. Dies ist besonders im Bereich der Randbrüche des Rhönblocks zu belegen, wo Tiefbohrungen sowohl im rotliegendfreien Grundgebirgssockel als auch in den Rotliegendtrögen standen, und sich so die heutigen Grabenzüge Hessens und Bayerns als alt angelegt erweisen.

Der Rhönblock ist eine NW-SE orientierte Struktur (SCHUMACHER et al. 1984) und nicht, wie von TRUSHEIM (1964) angenommen, eine varistische. Entlang der Bruchzonen am Rande von Grundgebirgsblöcken entstehen so Rotliegendtröge, die zum Teil in jüngerer Zeit weiterhin als Senkungszonen nachweisbar sind (LAEMMLEN & PRINZ 1968, SCHRÖDER 1976) (Abb. 21).

Wie die Verbreitung von rotliegendfreien Grundgebirgshochlagen beweist, sind die heutigen Aufwölbungen des Hessischen Schildes, der Rhön- und der Richelsdorfer Schild, alt angelegt.

Der Rhönschild ist anhand der Randstörungen sehr eindeutig zu lokalisieren, und seine Konstanz als Hochzone ist in jüngerer geologischer Zeit ebenfalls zu belegen (TRUSHEIM 1964, SCHRÖDER 1976). Im Bereich des Richelsdorfer Schildes ist die Situation eine andere. Es erweist sich, daß der heutige Kern des Richelsdorfer Schildes im Bereich von Rotliegendaufbrüchen (Nentershauser Becken) liegt, die sich ca. 10 km nördlich von Ronshausen befinden. Die Position der rotliegendzeitlichen Hochlagen ist

allerdings in der Gegend Ronshausen - Bebra - Weiterode nachzuweisen (Abb. 22, 23). Diese rotliegendzeitliche Hochlage weist sich auch heute noch im eng begrenzten, regionalem Bereich zwischen Ronshausen und Weiterode durch eine Hochlage der Kupferschieferbasis aus.

Die heutigen Rotliegendausbisse nördlich von Ronshausen werden als Teil des Werratroges interpretiert, der während der saxonischen Bruchtektonik eine konstante Position beibehielt, während sich das südlich anschließende Gebiet durch Abschiebungen zum eigentlichen Werratrog des Werra-Fulda-Beckens entwickelte.

Viele der Schwellen- und Beckenstrukturen (Abb. 21), die das Werra-Fulda-Becken zur Zeit des Rotliegenden querten, lassen sich entlang heutiger Störungszonen nachweisen.

Die Oberharz-Taunus-Schwelle war eine rotliegendfreie Hochlage, und mehrere Grundgebirgsausbisse verdeutlichen auch heute noch ihre exponierte Lage. Zur Zeit des Perms verband diese Schwelle den Taunus mit dem Oberharz.

Die Kellerwaldschwelle paust sich in streichender Fortsetzung nach Südosten als eine Struktur durch, die entlang des Fuldaer Grabenzuges in den Rhönblock übergeht (Abb. 21).

Die Treischfelder Tiefenschwelle tritt während der Sedimentation des Werrasalinars als Hochgebiet ohne Salinarentwicklung hervor (KÄDING 1975). Sie scheint als NW-streichendes Element in die Oberharz-Taunus-Schwelle überzugehen (LEIFELD & KULICK 1981) und zwischen Rhönblock und dem Thüringer Wald in gleicher Orientierung zu liegen.

Der Thüringer Wald begann sich seit dem Rotliegenden als nordöstlicher Abschluß des Fränkischen Beckens und des Werratroges zu entwickeln (LÜTZNER & RENTZSCH 1975), da während der Sedimentation der Goldlauterer Schichten ein Ursprung des Detritus aus dem Thüringer Wald angenommen werden muß. Die Tendenz der Heraushebung des Thüringer Waldes war kontinuierlich und seit dem Ende des Werrazyklus war der Thüringer Wald eine signifikante Grenze zu den Salinaren der Niedersachsen-Serie (RICHTER 1941a). Allerdings ist es noch nicht völlig geklärt, ob zwischen der Ruhlaer Schwelle im Norden und dem Schwarzburger Sattel im Süden nicht doch zeitweilig eine Verbindung zum nordöstlich angrenzenden Saaletrog vor-

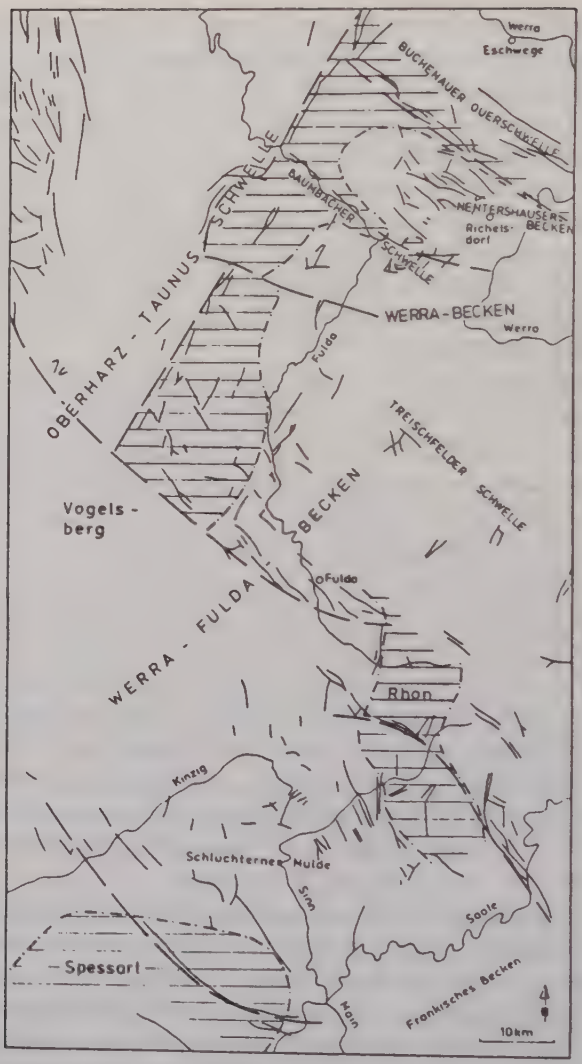


Abb 21 Verlauf von Hauptstörungszügen im Werra-Fulda-Becken.

Hauptstorungssysteme Rotliegendfreie Grundgebirgsblocke

Fig. 21 Position of major faultzones of the Werra-Fulda-Becken.

handen war.

Die Buchenauer Querschwelle (DITTRICH 1966) im nördlichen Anschluß des Nentershäuser Beckens ist rotliegendfrei und wird im Gegensatz zum Nentershäuser Becken als stehengebliebener Teil der nordwestlichen Thüringer Wald-Verlängerung interpretiert. Als Nentershäuser Becken wird der nördlich der Baumbacher Schwelle liegende, rotliegendführende Bereich des Richelsdorfer Gebirges definiert.

3.2. Paläogeographische Entwicklung vom Rotliegenden bis zur Basis des Werra-Anhydrits

3.2.1. Rotliegendes

Im Süden des Werra-Fulda-Beckens war die Rhön ein exponierter Block und wurde durch andauernde Abtragung ein Schuttlieferant für das allseits umgebende Festland. Im Osten und Südwesten der Rhön sind es fluviatile Sedimente, im Nordwesten dagegen tonig-siltige Sabkhaablagerungen, die wiederum an fluviatile Sedimente in der westlichen Schlüchterner Mulde grenzen.

Der Spessart war ebenso wie die Rhön eine Hochzone. Allerdings ist dieses Hochgebiet wesentlich größer als das der Rhön gewesen (FALKE 1972). Die Schuttmassen beider Gebiete vermischen sich im Bereich der Schlüchterner Mulde.

Im Gebiet Richelsdorf sind ebenfalls fluviatile Gesteine während des Rotliegenden abgelagert worden. Bemerkenswert ist die unterschiedliche Ausbildung der obersten Rotliegendsedimente nördlich und südlich der Baumbacher Schwelle. Im Norden sind es alluviale Fächer (STIER 1974), im Süden dagegen Ablagerungen eines "braided river"-Systems, die weiter transportiert und intensiver aufgearbeitet wurden als die alluvialen Fächersedimente. Damit soll aber nicht gesagt werden, daß die Schüttung von Norden her die Baumbacher Schwelle überwinden konnte, sondern daß diese Schwelle eher als eine Faziesgrenze fungierte. Die Rotliegendsedimente werden zum Top hin kontinuierlich feinkörniger, was mit einem Nachlassen der fluviatilen Vorgänge zu erklären ist, die in Bodenbildungsprozesse einmünden.

Die große Verbreitung von Ablagerungen relativ hochenergetischer Flußsysteme läßt bei einer gleichzeitig sehr geringen Verbreitung feinkörniger Sedimente den Schluß zu, daß die intramontanen Randtröge nicht abflußlose Becken waren, sondern daß eine Entwässerung in das sich im Norden anschließende Norddeutsche-Nordpolnische Becken stattfand (Abb. 24).

Da sich der Thüringer Wald bereits als Hochzone abzeichnet, ist es sehr fraglich, ob eine Verbindung vom Fränkischen Becken in den Saale-Trog vorhanden war (FALKE 1971, DIETRICH 1965). Eine Verbindung des Werratroges durch die Oberharz-Taunus-Schwelle in das anschließende Kasseler Becken, das bereits zum Norddeutschen Becken gehört, wäre hier zu erwägen (Abb. 24).

3.2.2. Weißliegendes

Das Weißliegende ist im gesamten Bereich der Rotliegendbecken nachzuweisen und greift über dessen Verbreitungsgrenzen weiter auf die Grundgebirgsrümpfe vor. Deshalb sind keine Gründe für eine Absenkung der Rotliegendbecken zur Zeit des Weißliegenden gegeben, sondern eher ein kontinuierliches Auffüllen der Tröge. Im Bereich der Schlüchterner Mulde deutet sich die Entwicklung eines Tiefgebietes an, in dem der Hauptentwässerungskanal dieses Bereiches zu sehen ist. Vermutlich erfolgte eine Entwässerung aus dem Bereich des Neuhofer Beckens in das Fränkische Becken nach Süden, wie sich aus der Mächtigkeitsverteilung der Weißliegendsandsteine ergibt. DITTRICH (1966) nimmt ebenfalls für den basalen Zechstein eine Verbindung zwischen Neuhofer Becken und Fränkischem Becken im Bereich der Schlüchterner Mulde an.

Als Ursache für das Einsetzen der Weißliegendsedimentation wird eine Zunahme fluvialer Aktivität angenommen, die zur Erosion großer Rotliegendbereiche führte. Die weiten Areale mit hoher Weißliegendmächtigkeit lassen aufgrund der Feinkörnigkeit der Sedimente nur den Schluß zu, daß es sich hier um aufgearbeitete Rotliegendsedimente und nicht um erodiertes Grundgebirgsmaterial handelt. Der Rhönblock deutet sich als stark exponierte Struktur an, von der sich Schuttströme besonders in die Schlüchterner Mulde hin erstrecken (Abb. 24).

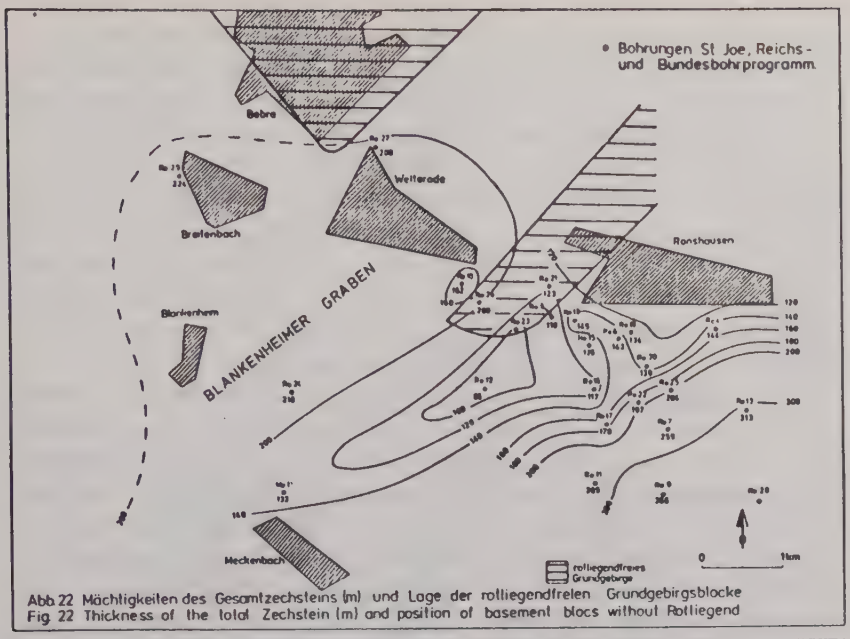


Abb. 22 Mächtigkeiten des Gesamtzechsteins (m) und Lage der rotliegendfreien Grundgebirgsblocke
Fig. 22 Thickness of the total Zechstein (m) and position of basement blocs without Rotliegend

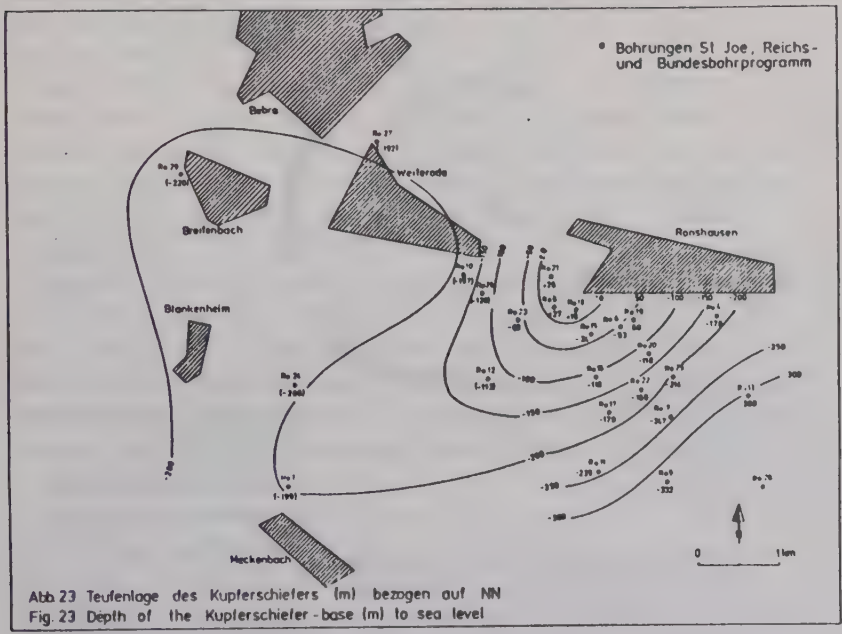


Abb. 23 Teufenlage des Kupferschiefers (m) bezogen auf NN
Fig. 23 Depth of the Kupferschiefer-base (m) to sea level

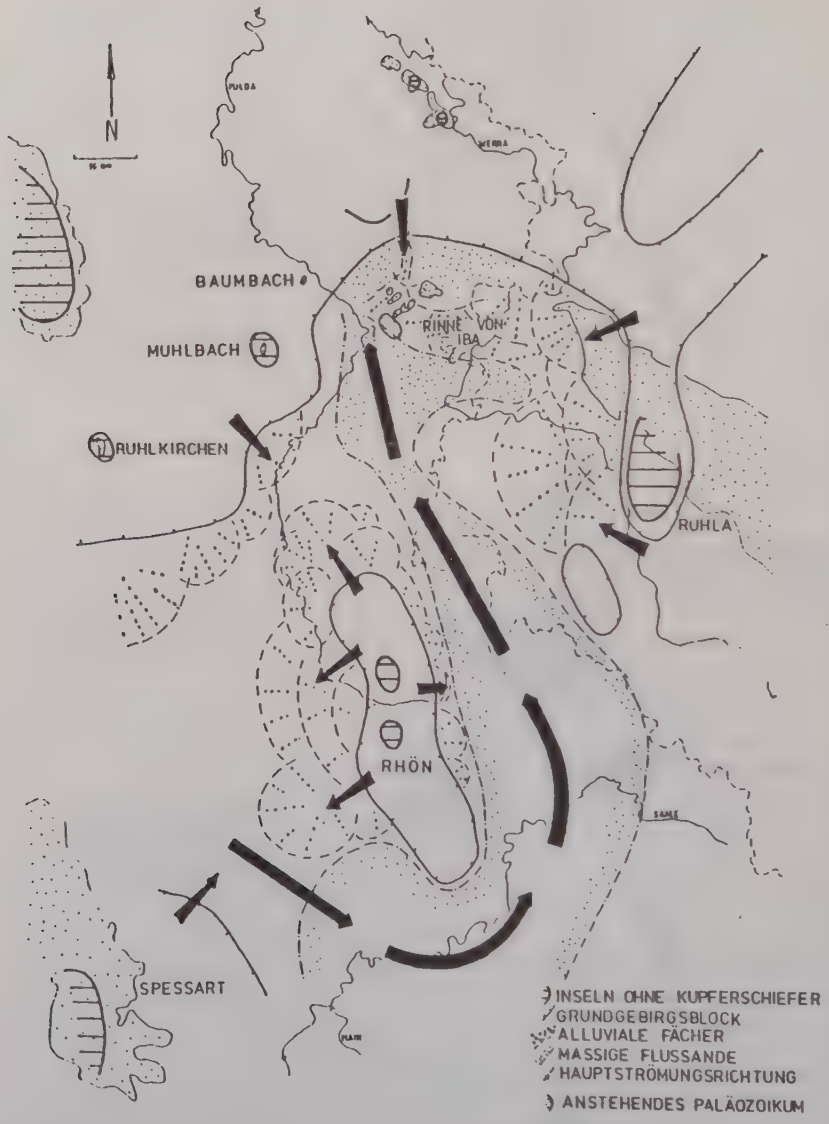


Abb. 24: Flußrichtung während des Weißliegenden
Fig. 24: Flow direction during the Weißliegend

Im Gebiet von Ronshausen vollzog sich während der Sedimentation des Weißliegenden eine weitgehende Einebnung der Baumbacher Schwelle und der umliegenden Rotliegendareale, so daß die Gesteine des Weißliegenden sowohl über dem Rotliegenden als auch über dem Grundgebirgsareal zur Ablagerung kamen. Die vorherige strukturelle Richtung (NE-SW) wird im Gebiet bei Ronshausen nicht mehr beibehalten, und es entwickelt sich die Rinne von Iba (RICHTER 1941a) mit den sie randlich begleitenden Sandbarren (NW-SE).

Im Saaletrog, auf der östlichen Seite des Thüringer Waldes, erfolgte die Entwässerung vermutlich nach Nordosten in den Raum Mansfeld durch ein vom Werra-Fulda-Becken gesondertes Flußsystem, denn eine Öffnung des Thüringer Waldes (JUNGWIRTH & SEIFERT 1966) kann nicht als vollständig bewiesen angesehen werden. Aufgrund des lithologischen Aufbaus der Eislebener Schichten im Saaletrog (JUNG 1960, LÜTZNER et al. 1981) liegt die Vermutung nahe, daß es sich bei ihnen um Gesteine handelt, die dem Weißliegenden im Werra-Fulda-Becken entsprechen und daß das Weißliegende, das im Mansfelder Raum ausgehalten wird, nur dem oberen Teil des Weißliegenden im Werra-Fulda-Becken entspricht.

Das "marine" Weißliegende, wie es NEMEC & POREBSKI (1977) beschreiben, bleibt auf die Vorländer des varistischen Gebirges beschränkt, wo sich in Polen, Norddeutschland und der Nordsee eine riesige Verebnungsfläche mit länger bestehenden Seen und Sabkhas entwickelte (DRONG et al. 1982, GLENNIE & BULLER 1983).

Die "marinen" Sedimente des Weißliegenden (NEMEC & POREBSKI 1977) in diesem Raum sind vermutlich Seensedimente, die nur aufgrund der Größe des Weißliegendbinnensees marine Faziesentwicklung aufweisen. Eine echte marine Beeinflussung erfolgte erst durch den Vorstoß des Kupferschiefermeeres mit lokaler Umlagerung der Sandsteinkörper des Weißliegenden.

3.2.3. Kupferschiefer

Die fluviatil gebildete Abfolge des Weißliegenden endet mit dem Einsetzen der Kupferschiefersedimentation. Allerdings

sind terrestrische fluviatile Einflüsse im marinen Bereich bis zum Beginn des Werra-Anydrits spürbar. Über den gesamten Sedimentationszeitraum des Kupferschiefers und des Zechsteinkalkes hinweg sind noch kontinuierlich fluviatile Einschaltungen zumindest in den Randfazien nachzuweisen.

Nach GLENNIE & BULLER (1983) ist der Vorstoß des Zechsteinmeeres aus dem nördlichen Polarbereich sehr plötzlich, innerhalb weniger Jahre geschehen. Sie vermuten einen Zeitraum von weniger als 10 Jahren, bis das Kupferschieferbecken völlig aufgefüllt war und das Kupferschiefermeer seine endgültige Verbreitung erreichte. Die Überflutung des mitteleuropäischen Zechsteinbeckens geschah also sehr schnell durch ein kontinuierliches Vollaufen des Beckens, so daß die Ausbildung typischer Transgressionssedimente an der Basis des Kupferschiefers ausblieb. Es erfolgte nur eine lokale, sehr geringfügige Aufarbeitung der klastischen Sedimente des Weißliegenden. GLENNIE & BULLER (1983) sehen in den strukturlosen Sandsteinen am Top der Weißliegendsandsteinkörper Kollapsstrukturen von äolischen Dünen, die von dem Meerwasser durchfeuchtet und damit instabil wurden.

Durch diese geringe erosive Beeinflussung des transgredierenden Zechsteinmeeres blieben im Werra-Fulda-Becken bereits vorhandene Sedimentkörper wie Sandbarren erhalten und bestimmen durch ihren Aufbau das Mikrorelief des Kupferschiefermeeres.

Der Meeresspiegel des Zechsteinmeeres lag zur Zeit der Zechsteintransgression erheblich höher als das Niveau der intramontanen Rotliegendtröge Mitteleuropas. Nach der Überflutung griff das Meer deshalb wesentlich tiefer als die Rotliegendtröge in die Grundgebirgsareale ein. Das Werra-Fulda-Becken liegt nun fast 100 km östlich der Westküste des Zechsteinmeeres, dem Rheinischen Schiefergebirge. Die durchgehenden Grundgebirgsschwellen und Beckenzüge des Rotliegenden und Weißliegenden existieren nicht mehr, sondern es bleiben nur noch isolierte Inseln auf den Grundgebirgsschwellen bestehen, die frei von Kupferschiefer sind.

In den Depressionen zwischen Sandkörpern des Weißliegenden, die Untiefen bilden, und in Grundgebirgstälern reicherte sich der Kupferschiefer zu hohen Mächtigkeiten an, die nicht durch Rutschungen bedingt sind, sondern auf eine erhöhte Zufuhr von Detritus vom Land und auch auf eine erhöhte Karbonat- und

Bitumenkonzentration zurückzuführen sind.

Grundsätzlich war die Wasserbewegung des Kupferschiefermeeres sehr gering und es kam zur Ausbildung von euxinischen Faziesverhältnissen. Nur im Küstenbereich und über Untiefen waren Strömungs- und Wellengangsverhältnisse des Meeres stark genug um partielle Durchlüftung und damit Randfaziesbedingungen zu verwirklichen.

Die karbonatreichen, bitumenarmen Zwischenlagen des Kupferschiefers der Schlüchterner Mulde sind auf zeitweilig stärkere Durchlüftung zurückzuführen, in der es nicht zur Anreicherung des organischen Materials kommen konnte.

Die Rutschungen im Kupferschiefer werden auf tektonische Bewegungen zurückgeführt, die zu Reliefunruhen führten und das Abrutschen von Sedimentstapeln hervorriefen. Im Spessartgebiet kündigt sich bereits zur Zeit der Kupferschiefersedimentation die Existenz eines mobilen Schelfs an, der am besten durch die Sedimentationsverhältnisse des Zechsteinkalkes nachgewiesen werden kann.

Gleichzeitig wird angenommen, daß die tektonische Aktivität, die während der Kupferschieferzeit im Spessart nachzuweisen ist, auch ursächlich für die Bildung des mitteleuropäischen Kupferschiefermeeres war. Durch tektonische Vorgänge wurde vermutlich im Gebiet der heutigen Nordsee das Ryngköping-Fyn-Hoch zerrüttet (GLENNIE & BULLER 1983), und das Meer konnte nach Süden vorstoßen. Im nördlichen Beckenbereich dominiert deshalb die noch marine Faziesausbildung des Kupferschiefers, die im intramontanen Trogbereich zugunsten der stark kontinental beeinflußten Randfaziestypen mit zunehmender Festlandsnähe zurückgeht.

Im Bereich der kontinentalen Beeinflussung (JORDAN 1969) wie auch im besser durchlüfteten Untiefenbereich kam es zur Ausbildung einer sedimentären Rotfärbungfazies, die oft Ausgangspunkt der später gebildeten, epigenetischen Rote-Fäule-Fazies wurde.

3.2.4. Zechsteinkalk

Während der Zeit der Zechsteinkalksedimentation wird die

Faziesdifferenzierung zwischen dem offenen marinen Bereich und der Randfazies im Spessartgebiet am auffälligsten. Sehr einheitlich werden im Beckengebiet geringmächtige Kalk- und Mergelsteine abgelagert, deren Mächtigkeit in den flachen Meeresbereichen zunimmt. Die Oberharz-Taunus-Schwelle war bis auf wenige Inseln vollständig überflutet und die Küste lag weit im Westen, am Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges. Die bis dato bekannten höchsten Mächtigkeiten des Zechsteinkalkes entsprechen Riffen(TRUSHEIM 1964, KERKMANN 1967, PAUL 1982), die am Rande von paläozoischen Blöcken zu lokalisieren waren. Die Spessartfazies, die mit ihrer hohen Mächtigkeit an die Riffazies erinnert, wird als eine marine Bildung aufgefaßt, die aufgrund der starken fluviatilen Beeinflussung einen typischen Aufbau erhält.

Die Rotsedimente, die im Zechsteinkalk auftreten, werden als syngenetische Bildungen im sauerstoffreichen Milieu interpretiert. Zu einer Verflachung des Meeres, wie sie PERYT & WAZNY (1980) aus der vorsudetischen Mulde beschreiben, kommt es erst am Top des Zechsteinkalkes, wie sich durch den hohen Gehalt an Anhydrit, Gips sowie Onkoiden feststellen läßt. Es herrschte zur Zeit der Zechsteinkalksedimentation eine kontinuierliche Absenkung vor. Deshalb ist es auch gerechtfertigt, den Bereich der Schlüchterner Mulde zur Zeit der Zechsteinkalksedimentation als einen mobilen Schelf zu bezeichnen.

Gegen Ende der Zechsteinkalksedimentation zieht sich der Meeresraum nach Nordosten zurück. Der fluviatile Einfluß schwindet zunehmend, und im Zechsteinbecken beginnt die Abscheidung des Werra-Anhydrits als regressionsbedingter Sabkha-Zyklus (MAYNARD 1983), wobei das marine Areal durch Ausbildung von Anhydritwällen weiter eingeschränkt wird. Es ist anzunehmen, daß besonders am Ende der Zeit der Zechsteinkalkbildung im Rahmen von großräumigen Sabkhaprozessen eine starke Konzentration von Salzen erfolgte, die einen wesentlichen Anteil an der Mobilisation der Buntmetalle hatten, die zur Vererzung des basalen Zechsteins führte.

Diese Anhydritwälle bilden sich an den Meeresküsten und Inseln (RICHTER 1941a), und in den Beckenbereichen werden Wechsel-

lagerungen aus Dolomit und Anhydrit abgeschieden, der Anhydritknotenschiefer. Starker terrestrischer Einfluß ist erst wieder mit dem Einsetzen eines neuen salinaren Zyklus zu belegen, wenn mit dem Staßfurt-Zyklus wieder Sande und dann Tone sedimentiert werden, worauf chemische Sedimente folgen. Allerdings erreicht das Werra-Fulda-Becken jetzt nicht mehr die gleiche Bedeutung wie zur Zeit des Werra-Zyklus. Das Hauptsedimentationsgebiet ist nach Nordosten, jenseits des Thüringer Waldes, verschoben worden.

Die tektonische Aktivität blieb während des gesamten Zechsteins erhalten. Die Beckenbereiche verlagerten sich zunehmend nach Norden. Im südlichen Bereich und besonders im Fränkischen Becken ist aufgrund der Mächtigkeitsverteilung der Sedimente des Gesamtzechsteins und anderer Zechsteinpartien allerdings nach wie vor eine leichte Absenkungstendenz erkennbar (Abb. 25, 26). Sicher nachweisbar ist die alte Schwellen-Beckenkonfiguration des Perms bis in den Buntsandstein hinein (TRUSHEIM 1964) und ist auch anhand der heutigen Tiefenlage der Zechsteinbasis weitgehend zu rekonstruieren.

4. Metallisation des basalen Zechsteins

4.1. Überblick

Der Kupferschiefer mit seinen Buntmetallvererzungen gilt als eine klassische stratiforme Metallagerstätte. Seine wirtschaftliche Bedeutung ergibt sich aus der bergmännischen Gewinnung von Kupfer und Silber, daneben aber auch von Blei, Zink, Gold und seltenen Elementen (KUCHA 1983) und seine wissenschaftliche aus seiner Rolle als Typuslagerstätte für schichtgebundene Schwarzschiefer-Metallanreicherungen. Die metallogenetischen Erkenntnisse zur Metallanreicherung im Kupferschiefer lassen sich wiederum auf andere, ähnliche Lagerstätten übertragen, so daß die Bearbeitung der Metallverteilung im Kupferschiefer von grundsätzlicher Bedeutung für die Exploration von sedimentären Buntmetall-Lagerstätten sein kann. Durch die Erkenntnis, daß der Kupferschiefer im Schichtverband zwischen terrestrischen Rotsedimenten und evaporitischen Ablagerungen liegt, sind

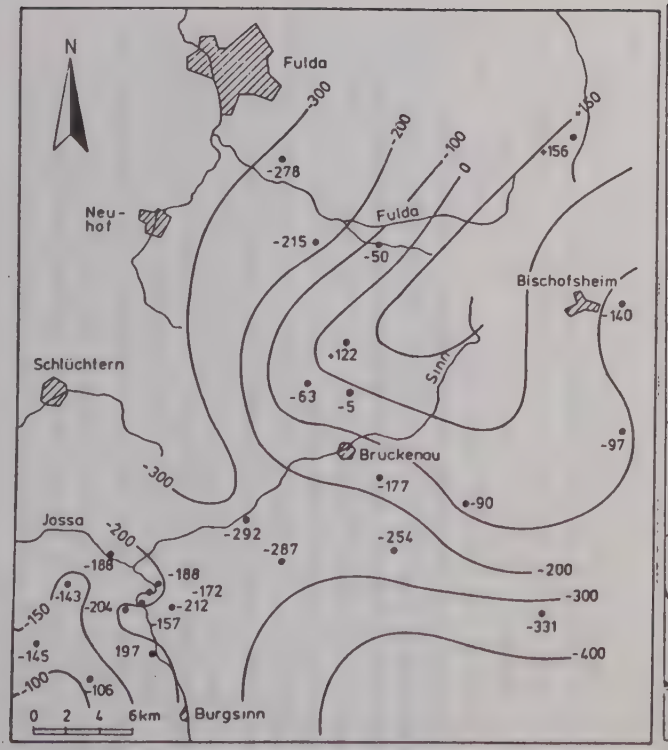


Abb. 25: Teufenlage der Kupferschieferbasis
Fig. 25: Depth of the Kupferschiefer base

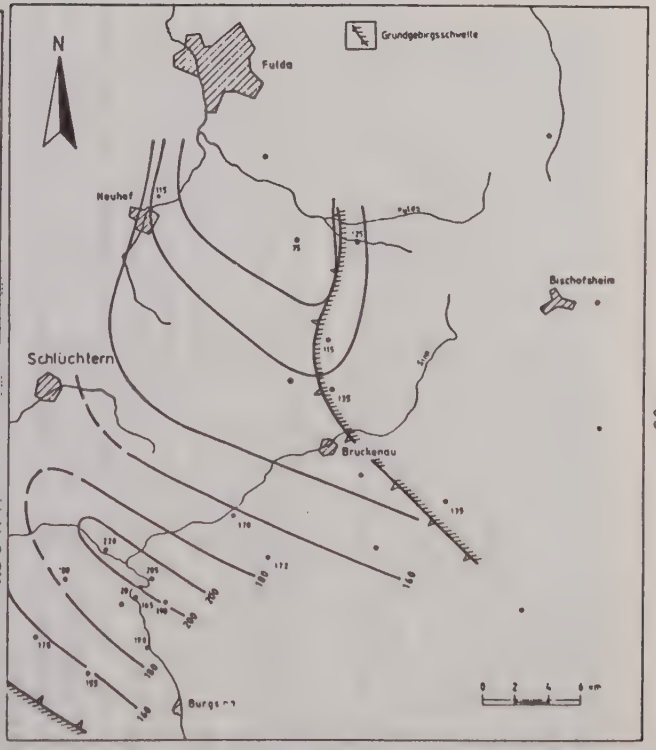


Abb. 26: Gesamtmächtigkeit des Zechsteins
Fig. 26: Total thickness of the Zechstein

Ähnlichkeiten zu anderen Schwarzschieferlagerstätten (Zambia - Zaire, Kasan, White Pine) und auch Red Bed-Lagerstätten (RENTZSCH 1974) besonders deutlich geworden.

Die wichtigsten Erkenntnisse für die genetische Interpretation und die Exploration liegen im Nachweis einer ausgeprägten Metallzonierung im basalen Zechstein, die sich nicht nur auf den Kupferschiefer selbst beschränkt, sondern sich auch auf den Zechsteinkalk und das Weißliegende erstreckt. Mit ihrer Hilfe können Hinweise auf mögliche, bisher noch unbekannte Kupfervererzungen gewonnen werden. Da die Kupfervererzungen nicht nur schichtgebunden im Kupferschiefer vorliegen, wurde in letzter Zeit auch in zunehmendem Maß eine epigenetische Bildung diskutiert (BANAS et al. 1981, RYDZEWSKI 1981).

Die im Kupferschiefer nachgewiesene Metallzonierung entspricht einer Eh-Abfolge, die mit einer Zone dreiwertigen Eisens beginnt (Rote Fäule), auf die eine Kupferzone und schließlich die am weitesten verbreitete Blei-Zinkfazies folgt (FRANZ 1965, RYDZEWSKI 1965, RENTZSCH 1974). Innerhalb der Kupferzone kann anhand der Minerale Kupferglanz, Buntkupferkies und Kupferkies eine weitere Zonierung nachvollzogen werden (RENTZSCH & KNITZSCHKE 1968).

Für das Arbeitsgebiet soll die Metallverteilung in der Kupfer-, Blei- und Zinkfazies sowie der Roten Fäule Zone in Bezug zur Paläogeographie des Zechsteins aufgezeigt werden. Daraus sollen Kriterien zur Unterscheidung der epigenetischen Roten Fäule von den sedimentären Rotfärbungen und von primären, sedimentären Buntmetallanreicherungen von epigenetischen Konzentrationen gefunden werden, woraus sich als Fazit ein genetisches Modell der Mineralisation im Werra-Fulda-Becken ergeben soll.

4.2. Methodik

Die metallogenetische Bearbeitung fundiert auf geochemischen Analysen, die von allen bearbeiteten Bohrkernen gewonnen wurden. Die Probenabstände im stark mineralisierten Bereich betragen wenige cm, im Liegenden und Hangenden wurden größere Bereiche einbezogen. Lithologische Unterschiede wurden, soweit möglich, bei der Probennahme berücksichtigt.

Analysiert wurden sämtliche Proben auf Cu, Pb, Zn und Ag.

Zur weiteren geochemischen Untersuchung wurden an einigen Proben Sr, Mn, Ni, Co, Cr, V, Sn, U, Mg, Ca, Ba, P, Fe, Fe^{2+}, C_{org}, Pd, Pt, Au, Sulfat- und Sulfidschwefel bestimmt. Die statistische Bearbeitung der geochemischen Daten erfolgte an der RWTH Aachen durch Prof. SIMON. Die Daten wurden einerseits insgesamt betrachtet, andererseits separat für einzelne Schichtglieder. Bestimmt wurden Mittelwerte und Standardabweichungen, dazu Häufigkeitsverteilungen sowie Korrelationen.

4.3. Metallzonierung des basalen Zechsteins

4.3.1. Definition der Metallzonen

Anhand eines Kupfer-Blei-Zink-Diagrammes werden die Metallzonen des basalen Zechsteins definiert (Abb. 27).

Die Rote Fäule-Zone nimmt aufgrund der allgemeinen Buntmetallarmut hier eine gesonderte Stellung ein, die zwar allgemein eine Kupferdominanz aufweist, aber nicht im Diagramm der Abb. 27 auszudrücken ist. In Bezug auf die Bohrprofile ist eine Metallzone durch die Vorherrschaft von Metall A über die Metalle B + C in einem Profilintervall von 2 m definiert. Die Zone beginnt bei einem Anteil von mindestens 50% des Metalls A am Gesamtbuntmetallgehalt von Kupfer, Blei und Zink. Die Untergrenze der maximalen Kupferanreicherung wird als Grundlage des Berechnungsintervalls genommen; die Obergrenze liegt nach der Definition 2 m darüber, so daß in diesem Bereich die höchstmögliche Kupferkonzentration innerhalb eines Bohrprofiles erreicht wird. Durch diese Definition sind die Metallzonen von der Stratigraphie unabhängig, da sie nur von der Position der Kupfermineralisation innehalb des Sedimentpaketes abhängen. Aufgrund dieser Berechnungsweise wird fast die Gesamtmenge des Kupfers im basalen Zechstein erfaßt, nicht aber die Gesamtmenge von Blei und Zink, da die höchste Blei- und Zinkkonzentration innerhalb der Lagerstätten nicht mit der Konzentration von Kupfer zusammenfällt, sondern in den darüberliegenden Schichten auftritt.

Der Vorteil dieser Berechnungsmethode liegt darin, daß im Bereich der Kupferzone der Blei- und Zinkanteil im Verhält-

nis zum Kupfer heruntergedrückt wird, so daß sich daraus eine Verdeutlichung der Kupferzone ergibt. Bei der Berechnung der Gesamtbuntmetallgehalte des basalen Zechsteins würde sich die Dominanz der Blei- und Zinkgehalte dahingehend äußern, daß die Kupferzone regional äußerst schmal wird, bzw. vollständig verschwindet und in ihrer Bedeutung unterrepräsentiert ist. Die Methode hat weiterhin den Vorteil, daß sie sich auf eine wirtschaftliche Größe, eine minimale Abbauhöhe von 2 m, stützt. Gesamtmetallangaben, die sich auf eine Flözfläche beziehen (RICHTER 1941b, GUNZERT 1953), sind wenig hilfreich, da sie keine Aussage mehr über die tatsächliche Verteilung der Metalle innerhalb der Bohrprofile geben, die zu einer Erfassung der Metallzonen notwendig sind. Vergleiche haben gezeigt, daß andere Berechnungsintervalle zu keiner verbesserten Zonenaussage der Metalle des basalen Zechsteins führen.

4.3.2. Räumliche Verteilung der Metallzonen im Werra-Fulda-Becken

Die Auswertung der Metallgehalte in den bearbeiteten Bohrungen ergibt, daß im Werra-Fulda-Becken die zu erwartenden Metallzonen und die Rote Fäule-Zone sämtlich nachzuweisen sind (Abb. 27, 28, 29). Die Rote Fäule-Zone im Kupferschieferbereich wurde nur im Richelsdorfer Gebiet bei Ronshausen bestätigt (Abb. 29), wo sie schon in älteren Bohrungen beschrieben wurde (KAUTZSCH 1942, RENTZSCH 1964).

Durch das Auftreten der Roten Fäule im Kupferschieferbereich ist bei Ronshausen die epigenetische Natur der Metallzonen bereits angedeutet; hier ist die Kupferzone der Rote Fäule-Zone vorgelagert. Im Spessart-Rhön-Gebiet, wo die Rote Fäule im Kupferschiefer selbst nicht nachzuweisen ist, umläuft die Kupferzone den Grundgebirgsblock der Rhön und überdeckt weite Gebiete der Schlüchterner Mulde. Die Blei-, Zink- und Mischfazies wird in den Beckenbereichen nachgewiesen, allerdings im Spessart-Rhön-Gebiet auch auf dem Grundgebirgsblock der Rhön (Abb. 28).

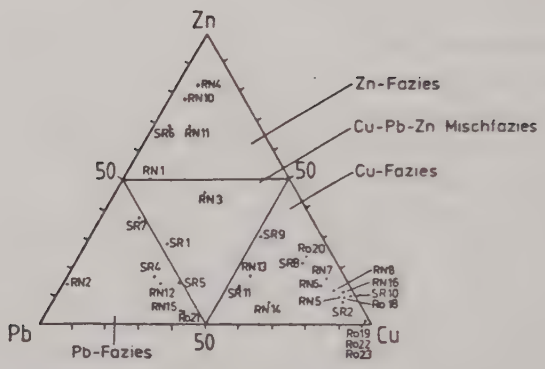


Abb. 27 Metallfaziesverteilung im mineralisierten Bereich.

Fig. 27 Distribution of metal-facies in the mineralized section.

4.3.3. Die Rote Fäule-Zone

Die ursprünglich aus der unteren Partie des Zechsteinkalkes beschriebenen rotgefärbten Gesteine wurden von den Bergleuten im Mansfelder Revier als "Rote Fäule" bezeichnet (FREESE & JUNG 1965). Diese Bezeichnung wurde dann im Laufe der Zeit auf weitere Gesteinsschichten ausgedehnt, so daß schließlich sämtliche Rotfärbungen, die im Zechsteinkalk, im Kupferschiefer und im Liegenden des Kupferschiefers auftreten, mit der Bezeichnung "Rote Fäule" versehen wurden (HOFFMANN 1924, STEINBRECHER 1959, RENTZSCH & LANGER 1963), ohne die Rote Fäule ausschließlich auf epigenetische Bildungen zu beschränken. FREESE & JUNG (1965) lassen sogar die Rotfärbungen, die im Werra-Anhydrit auftreten, als Rote Fäule gelten.

Die Rote Fäule, die unterhalb des Kupferschiefers auftritt, ist schwierig zu erkennen, da mit Ausnahme von paläozoischen

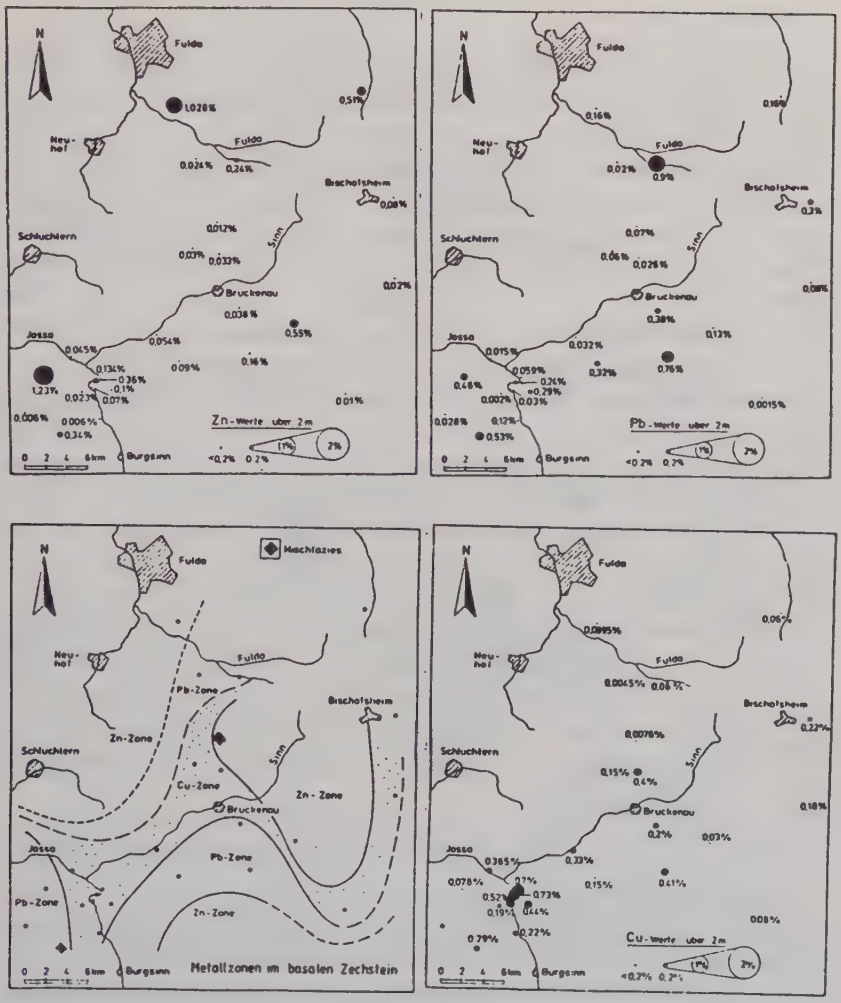


Abb. 28: Kupfer-, Blei- und Zinkgehalte, sowie Lage der Metallzonen im Gebiet Spessart-Rhön
Fig. 28: Copper-, lead- and zinc contents with location of the metal zones in the Spessart-Rhön area

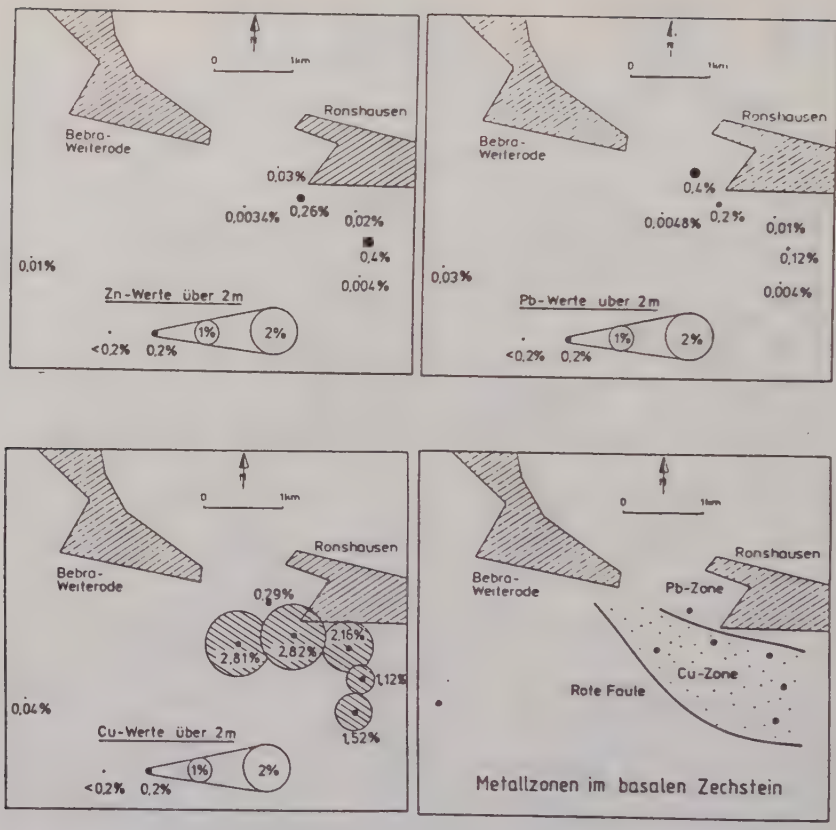


Abb. 29: Metallgehalte und Metallzonen im basalen Zechstein des Gebietes Richelsdorf
Fig. 29: Metal content and metal zones in the basal Zechstein of the Richelsdorf area

Schwellengebieten ohnehin rotgefärbte Sedimente - das Rotliegende - irgendwann den Kupferschiefer unterlagern. Von Roter Fäule ist in den liegenden Schichten des Kupferschiefers nur dann zu sprechen, wenn sicher ist, daß diese Gesteine einer normalerweise graugefärbten Folge epigenetisch beeinflußt und rotgefärbt wurden. Dieses Problem wurde im Werra-Fulda-Becken durch die Gliederung des Weißliegenden und seine Trennung vom Rotliegenden gelöst.

Die Rote Fäule ist nur dann für die Mineralisation des basalen Zechsteins von Bedeutung, wenn sie den Kupferschiefer erreicht oder sehr nahe kommt und mit einer Mineralisation in Beziehung zu setzen ist. So sind aus dem nördlichen Bereich der DDR und Polens auch Rote Fäule-Areale bekannt geworden, an die keine Mineralisation gebunden ist (RYDZEWSKI 1981). Vermutlich handelt es sich hier um sedimentär/diagenetische Rotfärbungen.

Durch die hier benutzte Definition wird die Rote Fäule ausschließlich als eine epigenetische Bildung verstanden. "Syngenetische Rote Fäule" wird als primäre Rotfärbung im Sedimentationsraum aufgefaßt. In diesen Arealen kann sich aber, bedingt durch ihre beckenrandnahe Positon, durchaus die Rote Fäule-Fazies ausbreiten.

4.3.3.1. Erscheinungsformen der Roten Fäule

Nach FREESE & JUNG (1965) lassen sich zwei grundsätzlich verschiedene Ausbildungsformen der Roten Fäule unterscheiden. Es sind einerseits schichtig angeordnete Rotfärbungen und andererseits solche, die an Klüften und Anhydritfiedern vorkommen. Der erste Typ der Rotfärbungen ist wiederum in mehrere Untertypen zu gliedern: punktartig, fleckenartig, wolkenartig-zerlappt, streifenartig und bandartig. Im Mansfelder Raum tritt nach FREESE & JUNG (1965) im unteren Teil des Zechsteinkalkes vorwiegend band- und wolkenartige Rote Fäule auf, ansonsten dominieren punkt- und fleckenartige Ausbildungen. Die Rote Fäule im Weißliegenden des Werra-Fulda-Beckens ist überwiegend flecken- und wolkenartig.

Die Färbung der Roten Fäule ist rostbraun, allerdings sind auch intensivere Färbungen bis hin zu weinrot bekannt. Im allgemeinen ist die Rotfärbung aber nur als ein leichter Anflug zu erkennen, der besonders gut am feuchten Kernmaterial zu beobachten ist.

4.3.3.2. Regionale Verbreitung der Roten Fäule

Die Verbreitung der Roten Fäule ist am besten in den klassischen Bergbaubezirken des südöstlichen Vorharzes bekannt, wo sie durch zahlreiche Grubenbaue und Aufschlußbohrungen erfaßt wurde, sowie im Lubiner Bergbaurevier.

Durch die Exploration auf weitere Vererzungen des basalen Zechsteins wurde ein riesiges Rote Fäule-Gebiet in der DDR und Polen (Ostbrandenburg-Lausitz) entdeckt, das sich von Berlin im Westen bis fast nach Breslau im Osten erstreckt. Die Ausdehnung dieses Rote Fäule-Gebietes ist im Weißliegenden wesentlich weiträumiger als im Kupferschiefer (pers. Mitt. A. RYDZEWSKI).

Geringer ist die regionale Verbreitung der Roten Fäule im Zechsteinkalk, so daß sich im Querschnitt eine buckelartige Aufwölbung der Rotfärbung aus dem Rotliegenden heraus ergibt. An den Rand dieses Rote Fäule-Gebietes sind die Kupferlagerstätten von Lubin und Konrad - Lena, sowie Spremberg - Weißwasser gebunden. Dem Lubiner Gebiet ist nach Nordosten ein unterbrochener Zug von Rote Fäule-Gebieten im Bereich des Hochlandes von Wolstyn vorgelagert, von dem aber bis jetzt noch keinerlei interessante Mineralisationen bekannt sind.

Sehr ausgedehnte - allerdings fragliche - Rote Fäule-Gebiete sind durch Tiefbohrungen vom nördlichen Rand des Zechsteinmeeres bekannt geworden, sowohl im Gebiet von Rügen - Pommern in der DDR, als auch vom Masurischen Block an der Grenze zwischen Polen und der UdSSR. Alle diese beschriebenen Rote Fäule-Gebiete sind an präpermische Hochlagen gebunden, deren Verlauf sie im großen und ganzen folgen, aber nicht überdecken. Im Bereich des Zechsteinmeeres südlich und westlich des Thüringer Waldes ist Rote Fäule lediglich in der Umgebung des Thüringer Waldes bekannt (RENTZSCH 1965).

In der BRD wurde Rote Fäule am Rheinischen Schiefergebirge (LEIFELD et al. 1983), an der Eichsfeldschwelle (PAUL 1982) und als punktuelles Vorkommen im Richelsdorfer Gebirge bekannt. Im Bereich der Treischfelder Tiefenschwelle war Rote Fäule in einer Bohrung gefunden worden (KÄDING 1975). Dieses Rote Fäule-Vorkommen könnte mit dem verbunden sein, das bei Ronshausen liegt. Durch den Mangel an Aufschlüssen ist dies allerdings nicht zu beweisen.

4.3.3.3. Auftreten der Roten Fäule im Profil

Im Weißliegenden tritt Rote Fäule sowohl im strukturlosen, als auch in den megakreuzgeschichteten Sandsteinen ebenso wie in den Konglomeraten auf, so daß keine Abhängigkeit vom Typ des Sedimentes festzustellen ist.

In den meisten Bohrungen des Spessart-Rhön-Gebietes ist nur eine geringe Rotfärbung des Weißliegenden nachzuweisen, die ausschließlich an der Basis des Weißliegenden auftritt und kontinuierlich in das Rotliegende übergeht.

Im Richelsdorfer Gebiet wurde Rote Fäule in der Bohrung RO 24 (Abb. 30) nachgewiesen und ebenfalls in den Bohrungen RO 16 und 17 (LEIFELD et al. 1983). Da der Rote Fäule-Zone eine Kupferzone im Nordosten vorgelagert ist, ist auch anzunehmen, daß die Nordflanke der Rote Fäule-Fazies nach Nordosten hin abtaucht. Das Zentrum der Rote Fäule-Fazies liegt hier eindeutig in Barrenbereichen des Weißliegenden (Abb. 29).

Im Werra-Fulda-Becken tritt Rote Fäule am Rand von Grundgebirgshochlagen auf (Abb. 31); sie ist aber auch hier bevorzugt an die Sandsteinkörper im Liegenden des Kupferschiefers gebunden. Das Auftreten von Roter Fäule in Sandsteinanschwellungen beschreiben FREESE & JUNG (1965) auch für das Mansfelder Gebiet und OSZCZEPALSKI (pers. Mitt.) für das Umland des vorsudetischen Blockes.

Die buckelartige Aufwölbung der Rotfärbungen aus dem Rotliegenden heraus (Kap. 4.3.3.2.) erreicht in den bisher bearbeiteten Gebieten um Richelsdorf gerade die Basis des Kupferschiefers, niemals den Zechsteinkalk. Im Spessart-Rhön-Gebiet ist die Annäherung der Roten Fäule an den Kupferschiefer noch geringer (Abb. 31).

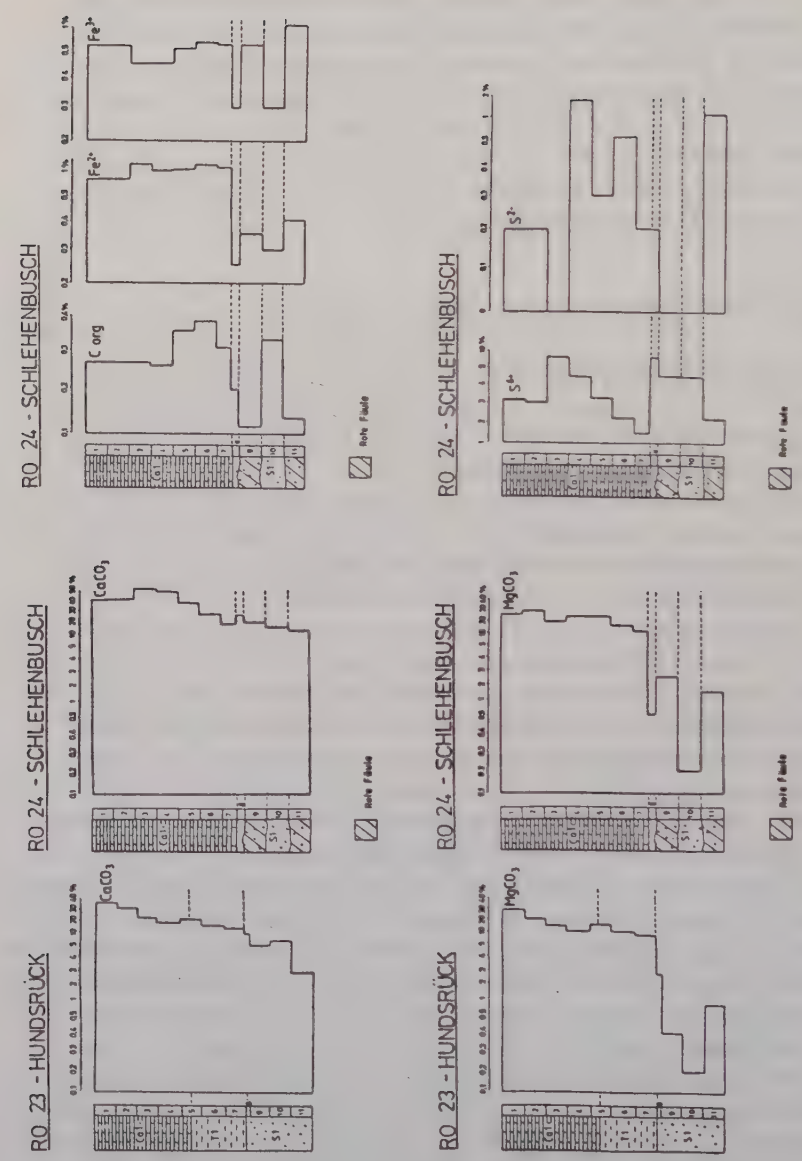


Abb. 30: Gehalte von Fe, C_{org} und Karbonaten in einem Rote Fäule-Profil und im Vergleich zu einem Profil der Cu-Zone

Fig. 30: Contents of Fe, C_{org} and carbonates in a Rote Fäule section and compared with a profile of the Cu-zone

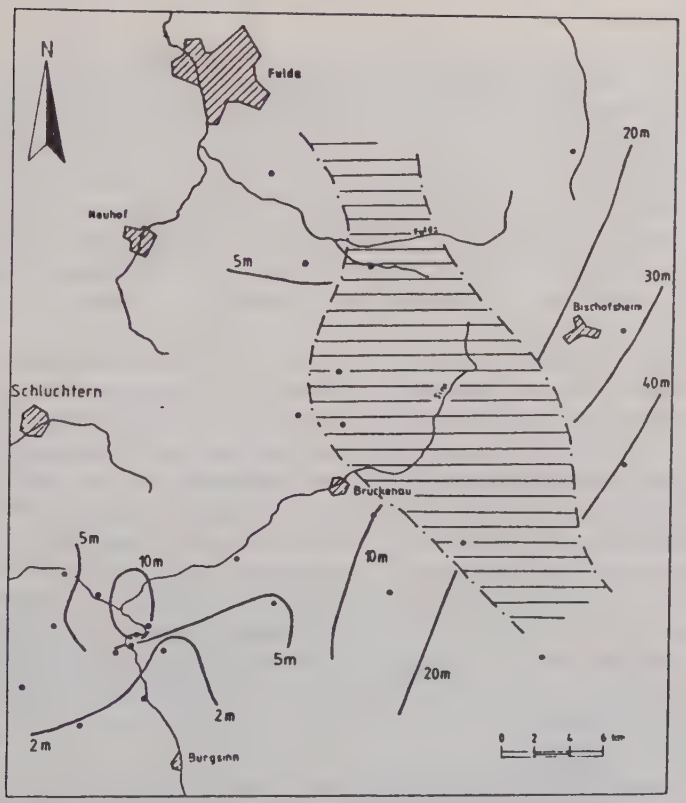


Abb. 31: Abstand zwischen Roter Fäule im Weißliegenden und dem Kupferschiefer
Fig. 31: Distance between the Rote Fäule in the Weißliegend and the Kupferschiefer

4.3.3.4. Elementverteilung der Roten Fäule

Das charakteristische Mineral der Rote Fäule-Zone ist Hämatit im Gegensatz zu den Sulfiden der reduzierten Normalfazies des basalen Zechsteins. Aus diesem Grunde wäre eine Dominanz von dreiwertigem Eisen über zweiwertiges zu vermuten.

Die Eisenvormacht ist allerdings bei weitem nicht so deutlich, wie das aufgrund der Rotfärbung zu erwarten gewesen

wäre. Als Beispiel sei hier die Bohrung RO 24 erwähnt, die im Weißliegenden mehrere Rote Fäule-Zungen aufweist (Abb. 30).

In den Zungen der Roten Fäule, die diskordant das Weißliegende durchlaufen und zum wolkenartigen Typ gehören, steigt der Fe^{3+}-Wert allgemein an und erreicht mit 0,5% Werte, die denen des Rotliegenden entsprechen. Aufgrund des Verhältnisses von zwei- und dreiwertigem Eisen als Oxidationsindikator muß darauf hingewiesen werden, daß die Aufoxidation des sulfidischen Eisens in der hier untersuchten Rote Fäule-Fazies nicht vollständig vollzogen wurde, da nicht das gesamte Gestein, sondern nur Zungen aufoxidiert wurden. Dies wird auch durch die hohen Sulfidschwefelgehalte bestätigt, die bis zu 2% erreichen (Abb. 30) können. Nach RENTZSCH (1974) ist außerdem nur ein Teil des Eisens tatsächlich an Oxide, bzw. Sulfide gebunden. Das meiste Eisen tritt dagegen in Karbonaten und Silikaten auf, die bei Prozessen der Rote Fäule-Bildung nicht beeinflußt werden. In Übereinstimmung mit RENTZSCH (1974) kann gesagt werden, daß Eisen kein eigentliches Lagerstättenelement ist. Denn die Rote Fäule-Zone ist keine Zone mit deutlichen Gehalten an Fe^{3+} von mehreren Prozenten, die an die Buntmetallgehalte heranreichen, die in der Nähe der Roten Fäule beobachtet werden. Vermutlich ist Eisen bei den Prozessen, die zur Bildung der Kupferlagerstätten im basalen Zechstein führten, nicht in bedeutender Menge mobilisiert worden.

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff ist im Bereich der Roten Fäule reduziert, die Werte liegen bei 0,15%. Innerhalb des Profils steigen die Gehalte an organischem Kohlenstoff in den grauen Bereichen wieder an, so daß sich ein klarer Bezug zu den oxidierten Zonen ergibt. Die Karbonatgehalte (Abb.30) zeigen ebenfalls eine Abhängigkeit zu den Rote Fäule-Zungen. Im Bereich der Rotfärbungen steigt der Dolomitgehalt deutlich an und erreicht Werte um 2%. Vorherrschendes Karbonatmineral ist allerdings Calcit. Beide Karbonate zeigen eine deutliche Zunahme vom Liegenden zum Hangenden. Diese Verhältnisse gelten sowohl für Profile mit Rote Fäule-Entwicklung als auch für solche in normaler Ausbildung. Nach RENTZSCH (1965) nimmt der Karbonatgehalt in Richtung

auf die Rote Fäule hin zu, besonders der Gehalt an Dolomit.
Dies ist jedoch damit zu erklären, daß die Rote Fäule bevorzugt in flachmarinen Gebieten auftritt, wo ohnehin mehr Karbonat organisch gefällt wurde als in den tieferen Meeresbereichen. Diese Gebiete decken sich außerdem mit Arealen im Randbereich des Kupferschiefermeeres, in denen es neben der primär hohen Karbonatkonzentration auch zu sedimentären Rotfärbungen kam.

4.4. Die Kupferzone

4.4.1. Verbreitung der Kupferzone

Die Kupferzone nimmt innerhalb der Gesamtverbreitung des Zechsteinmeeres nur einen sehr beschränkten Raum ein, davon wiederum ist nur ein geringer Anteil Träger der wirtschaftlichen Vererzungen (WEDEPOHL 1971).

Im Spessart-Rhön-Gebiet umläuft die nachgewiesene Kupferzone den Rhönblock und die Schlüchterner Mulde, wobei das Maximum der Kupferführung im Jossa-Sinntal liegt (Abb.28). Da diese Kupfervererzungen aber nicht mit einer Rote Fäule-Fazies in Beziehung zu setzen sind, handelt es sich hier um einen anderen Typ der Mineralisation, auf dessen Unterscheidung ausführlicher im genetischen Kapitel eingegangen wird. Nur wenn die Kupfermineralisation am Rande einer Rote Fäule-Fazies und nicht schichtgebunden im Kupferschiefer auftritt, ist mit der Existenz einer bauwürdigen Lagerstätte zu rechnen. In allen anderen Fällen handelt es sich um syngenetische Kupferkonzentrationen und epigenetische, hydrothermale Imprägnationen des basalen Zechsteins, die bisher nicht wirtschaftlich gewonnen werden konnten.

Im Falle der syngenetischen, epigenetisch unbeeinflußten Mineralisation liegt die maximale Kupferkonzentration an der Basis des Kupferschiefers und im obersten Bereich des Weißliegenden.

Bei Kupfervererzungen, die epigenetisch beeinflußt wurden, ist dies aber anders. Ebenso wie die Rote Fäule den Kupferschiefer und den Zechsteinkalk durchschneidet, quert auch die Position der maximalen Kupferanreicherung räumlich gesehen die Schichten (Abb.32).

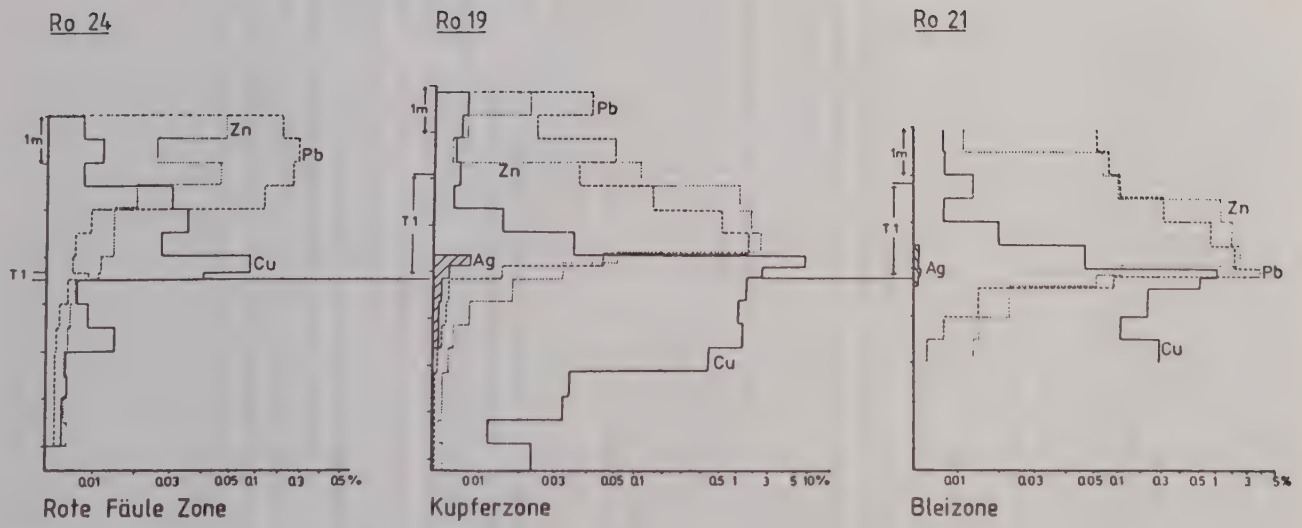


Abb.32 Profilabfolge der Metallzonen im Arbeitsgebiet Richelsdorf

Fig. 32 Succession of metallzones within core sections of the Richelsdorf area

Das Kupfermaximum liegt innerhalb des Profils dort am höchsten, wo die Rote Fäule den Kupferschiefer durchdringt, oder ihm am nächsten kommt (Abb.32). Mit weiterer Entfernung von einem Rote Fäule-Gebiet sinkt die Obergrenze der Roten Fäule stratigraphisch tiefer in das Schichtpaket ab. Gleichlaufend mit dieser Tendenz liegt das Kupfermaximum am tiefsten, wo es am weitesten vom Zentrum der Rote Fäule-Verbreitung entfernt liegt (Abb.32,RO21). Die unterschiedliche Lage der Kupfervererzungen im basalen Zechstein wurde früh erkannt und gab Anlaß, je nach der Position der maximalen Kupferführung ein "Sanderz" bzw. ein "Kalkerz" neben dem "Kupferschiefererz" auszuhalten. GUNZERT (1953) spricht im Gebiet des Richelsdorfer Gebirges z.B. von einem "Reichenberg-Typ", wenn das Kupfererz im Zechsteinkalk vorkommt und führte daneben noch weitere Erztypen ein. Er erkannte allerdings bereits durch die Lage der Kupfervererzungen in verschiedenen Profilhöhen den epigenetischen Ursprung des bauwürdigen Erzes im Bereich des Reichenbergschachtes.

Die bauwürdige Kupfervererzung der Lagerstätten ist quer zum Streichen mit einigen hundert Metern nur sehr gering. Sie kann aber durchaus eine streichende Länge von mehreren Kilometern aufweisen (Abb.3). RENTZSCH & KNITZSCHKE (1968) geben drei Vererzungstypen an, wobei der Typ "Richelsdorf-Süd" nur eine Breite von einem Kilometer hat und eine bauwürdige Höhe von maximal 2m aufweist. Der "Mansfeld-Typ" ist mehrere Kilometer breit, hat aber nur eine bauwürdige Höhe von wenigen Dezimetern. Die größte Ausdehnung hat der "Lubin-Typ", der sowohl mehrere Meter bauwürdige Mächtigkeit als auch eine Breite von mehreren Kilometern aufweist (Abb.3).

4.4.2. Interne Gliederung der Kupferzone

Die Kupferzone ist in sich weiter zu untergliedern. Je nach dem Angebot von Kupfer im Verhältnis zum Sulfidschwefel ist eine Kupferglanz-, Buntkupferkies- und Kupferkieszone zu unterscheiden (Abb.3). Die höchsten Vererzungen treten in der Kupferglanzzone auf, die der Roten Fäule am nächsten liegt. Nur im Bereich der Kupferglanzzone sind bisher ökonomische Kupferlagerstätten im basalen Zechstein gefunden worden.

Die durchschnittlichen Kupfergehalte schwanken sehr stark, liegen aber im Haufwerk der bekannten Lagerstätten der DDR und Polens unter 1% Cu. Dieser Wert ist über eine minimale Abbauhöhe von 2m gerechnet. Lokal können Schwankungen innerhalb der Kupferzone so stark sein, daß mehrere Prozent Kupfer neben vollständig vertaubten Bereichen vorkommen können.

Da die epigenetische Erzanreicherung im basalen Zechstein ein regionaler Vorgang ist, der sich - einschließlich Roter Fäule - über mehrere 100 km^2 in einem Lagerstättenbereich erstreckt, können die einzelnen Bohrergebnisse nur innerhalb des Gesamtbildes interpretiert werden, um den Aufbau einer Lagerstätte mit ihren randlichen Zonen zu erfassen und eine verläßliche Aussage darüber zu erlauben, ob es sich bei der vorgefundenen Buntmetallführung um eine syngenetische oder epigenetische Bildung mit Rote Fäule-Fazies handelt.

Eine syngenetische Mineralisation sollte z.B. keine Verdrängungsgefüge aufweisen und schichtgebunden auf den Kupferschiefer beschränkt bleiben.

4.4.3. Metallverteilung in der Kupferzone

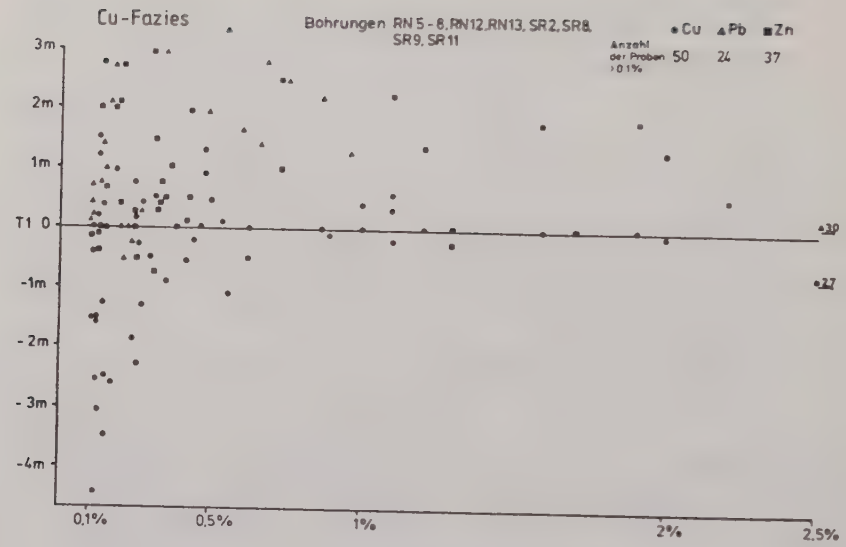
In den Erzlagerstätten erreichen die Kupfergehalte Werte von über 2%/2 m. Die höchsten Gehalte einzelner Proben im Lagerstättenbereich können dabei durchaus mehr als 10% Kupfer überschreiten (Abb. 33). Da die Buntmetallführung im Lagerstättenbereich nicht schichtgebunden, sondern in Karbonatgesteinen, Sandsteinen und Schwarzschiefern auftritt, sind Vergleiche mit Durchschnittsgehalten anderer Gesteine problematisch. Nach RENTZSCH (1974) beträgt der Anreicherungsfaktor der Metalle im Kupferschiefer bei Kupfer 0-15 000, bei Blei 0-5 000 und Zink 0-500 im Vergleich zu "normalen" Schwarzschiefern, die syngenetisch mineralisiert sind.

Die Buntmetalle Kupfer, Blei und Zink weisen im Profil eine ähnliche Tendenz auf. Kupfer, Blei, Zink (auch Silber) steigen innerhalb des Profiles sehr rapide aus Arealen mit Backgroundwerten an (Abb. 32), um dann wieder abzufallen. Die stratigraphische Position dieses Anstiegs der Metallführung hängt von der geographischen Position zur Rote Fäule-Fazies ab.

Im allgemeinen erfolgt im Profil der Anstieg zur maximalen Kupferverteilung unterhalb der Blei- und Zinkanreicherung. Dies gilt besonders für eine Position in Rote Fäule-Nähe (Abb. 32, RO 24). In Richtung auf die Blei-Zinkzone taucht die maximale Kupferanreicherung in eine tiefere stratigraphische Position ab (Abb. 32, 33). Allerdings kann auch in der Blei- bzw. Zinkfazies noch in den basalen Bereichen eine maximale Kupferführung erfolgen, die dann in diesen Bereichen wesentlich stärker ist als die Blei- und Zinkanreicherung, die etwas weiter darüber einsetzt (Abb. 32, RO 21, Abb. 33, 34).

Die vertikale Metallabfolge zeigt jedoch keine einheitliche Entwicklung (Abb. 35), sondern nur die generelle Tendenz, das im Liegenden der Mineralisation eine Kupferzone entwickelt ist, auf die dann erhöhte Blei- und Zinkwerte folgen, wobei die Trends durchaus rückläufig sein können Die Erklärung liegt darin, daß primär im Weißliegenden eine nicht so stark reduzierte Fazies entwickelt ist wie im Kupferschiefer. Deshalb kommt es dort zu einer höheren Kupfer- als Blei- und Zinkanreicherung. In den reduzierten Bereichen des Kupferschiefers erfolgt nach dem Kupfer eine Anreicherung von Blei und Zink, die allerdings nicht kontinuierlich erfolgen kann, da Karbonatbänke im Wechsel mit bitumenreichen Lagen eine ständige Änderung des geochemischen Milieus andeuten. Durch die epigenetische Beeinflussung, die vom Liegenden des Kupferschiefers ausgeht, kommt es zu einer gleichartigen Zonierung mit Cu im Liegenden, dann Pb und schließlich Zn. In größerer Entfernung von der Rote Fäule-Front ist natürlich die syngenetische Kontrolle der Metallfixierung durch das reduzierende Milieu stärker als die Beteiligung der schwach oxidierenden, metallführenden Lösungen, so daß keine Cu-Zone entwickelt wurde. Ein Beispiel ist hierfür Bohrung RN 3 auf dem Rhönblock, wo keinerlei epigenetische Einflüsse anzunehmen sind (Abb. 28).

Durch die starke Kupferanreicherung in den basalen Profilabschnitten des mineralisierten Bereiches - selbst in der Blei- und Zinkzone - ist nur durch eine Betrachtung maximaler Kupfergehalte in einzelnen Proben eine Definition der Kupferzone nicht möglich.



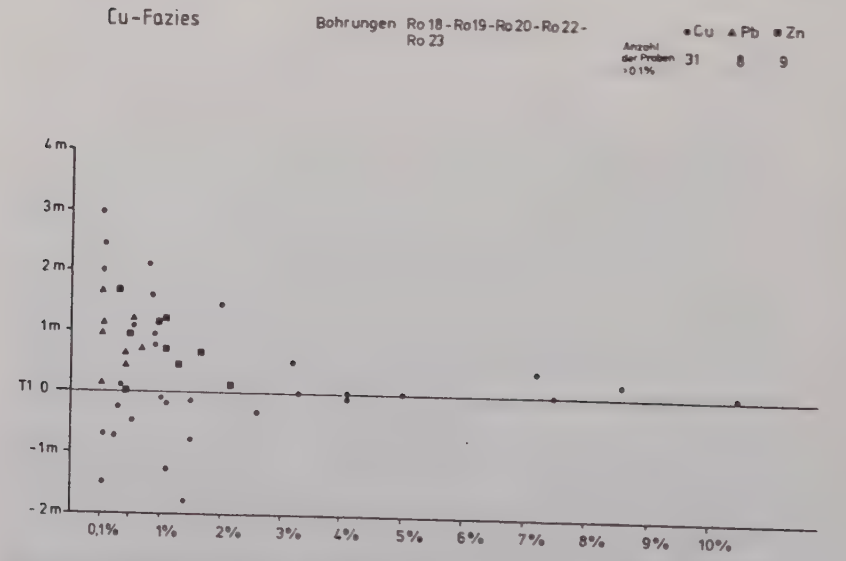


Abb. 33: Metallgehalte der Cu-Zone in Bezug zur Kupferschieferbasis
Fig. 33: Metal contents of the Cu-zone related to the Kupferschieferbase

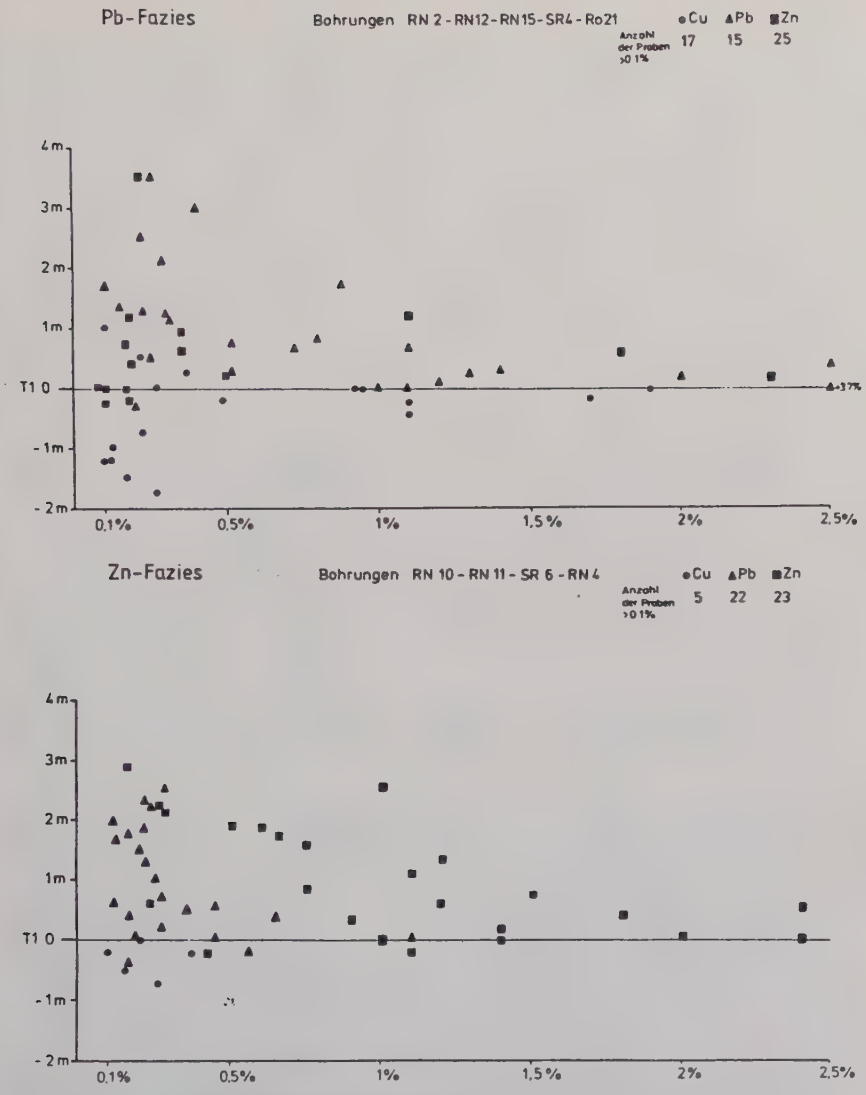


Abb. 34: Metallgehalt der Pb-Zn-Zone in Bezug zur Kupferschieferbasis

Fig. 34: Metal contents of the Pb-Zn-zone related to the base of the Kupferschiefer

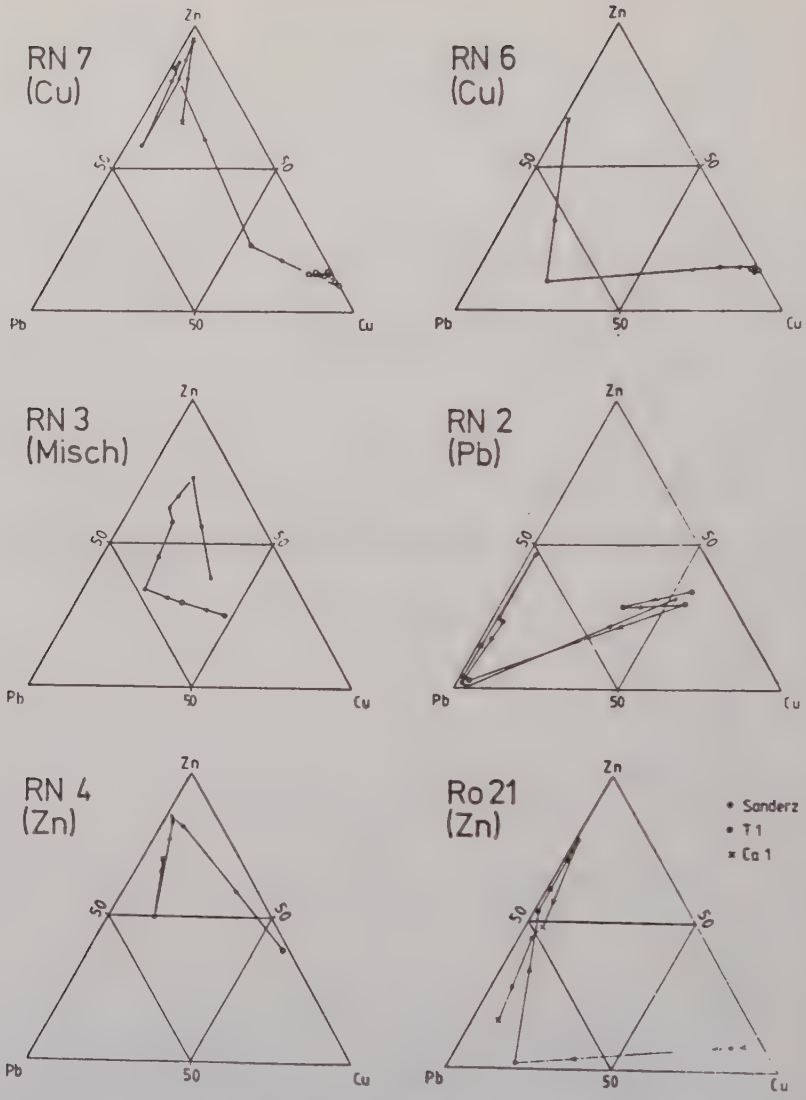


Abb. 35: Metallfaziesentwicklung innerhalb von Bohrprofilen vom Weißliegenden zum Zechsteinkalk

Fig. 35: Development of the metal facies from the Weissleigendes to the Zechsteinkalk in drill hole sections

Dies wird durch die Berechnung des gesamten Kupfer-, Blei- und Zinkinhaltes der Gesteine des basalen Zechsteins - bzw. innerhalb der gewählten 2 m-Sektionen - erreicht. Eine weitere Möglichkeit ist die regionale Interpretation der Mittelwerte der Metallgehaltsverteilungen.

Die Berechnung der Mittelwerte für den Kupferschiefer sowie aller Analysedaten aus dem basalen Zechstein ergibt ein identisches Bild. Die höchsten Mittelwerte (Abb. 36, 37) liegen in den Bohrungen RN 5, 6, 7, 8 und 14 und SR 9, 10 und 11, die der Kupferzone entsprechen.

Bei der Betrachtung nur der Kupferschieferdaten fallen z.B. RN 5 und RN 7 deutlich zurück. Die Erklärung liegt darin, daß die Mineralisation nicht schichtgebunden im Kupferschiefer auftritt und eine epigenetische Verschiebung der Mineralisation ins Liegende und Hangende nicht zu erfassen ist, wenn versucht wird, die Metallisation des basalen Zechsteins nur am Kupferschiefer zu untersuchen. Aus diesem Grunde werden die geochemischen Daten des gesamten basalen Zechsteins zusammen bearbeitet und mit lithologischen Durchschnittswerten verglichen (Tab. 2).

Die regionale Verteilung der Mittelwerte aus dem mineralisierten Bereich des basalen Zechsteins vom Weißliegenden bis zum Zechsteinkalk läßt für das Gebiet Richelsdorf und Spessart-Rhön eine vergleichbare Verbreitung der Buntmetalle erkennen (Tab. 4). Die Verteilungskurven von Kupfer, Blei und Zink setzen sich in beiden Gebieten aus zwei Populationen zusammen (Abb. 38).

Die "anomale" Kupferpopulation hat in Richelsdorf (Abb. 38) Durchschnittswerte um 0,5 - 1% Cu, im Spessart-Rhön-Gebiet dagegen von ca. 0,1 - 0,2% (Abb. 30). Dies ist offensichtlich damit zu erklären, daß in Ronshausen alle Bohrungen bis auf die Bohrung RO 21 und RO 24 innerhalb der vererzten Kupferzone liegen. In diesem Gebiet werden auch maximale Kupfergehalte von mehr als 10% erreicht (Abb. 33), während sie im Spessart-Rhön-Gebiet deutlich darunter liegen. In Abb. 38 wurden aus dem Spessart-Rhön-Gebiet nur die mit "RN" bezeichneten Bohrungen bearbeitet, da die Auswertung der SR-Bohrungen die Ergebnisse der RN-Daten wiederholt. Zur näheren Definition der Kupferverteilung wurden die kumulativen Verteilungskurven für die Buntmetallverteilung erstellt (Abb. 39). Die in Abb. 38 angedeutete bimodale Verteilung wurde anhand der Teilpopulationen

	Kupferschiefer									Zechsteinkalk									Weißliegendes									Rotl.			
	Ro			RN			SR			Ro			RN			SR			Ro			RN			SR			RN			
	n	x̄	± s	n	x̄	± s	n	x̄	± s	n	x̄	± s	n	x̄	± s	n	x̄	± s	n	x̄	± s	n	x̄	± s	n	x̄	± s	n	x̄	± s	
Cu	22	0.48	0.2 2.0	80	0.08	0.04 0.17	71	0.09	0.06 0.18	22	0.15	0.07 0.60	56	0.007	0.005	54	0.007	0.005 0.009	39	0.24	0.13 0.72	49	0.11	0.08 0.70	81	0.07	0.05 0.14	3	0.0003	0.0006 0.0012	%
Pb	22	0.51	0.2 2.2	80	0.28	0.17 0.61	71	0.39	0.25 0.77	22	0.04	0.03 0.09	46	0.025	0.02 0.04	54	0.016	0.01 0.03	38	0.003	0.002 0.004	35	0.008	0.005 0.012	58	0.005	0.004 0.007	1	0.0007	0.0005 0.0017	%
Zn	22	0.87	0.4 3.7	80	0.45	0.27 0.96	71	0.56	0.35 1.12	22	0.02	0.01 0.04	46	0.016	0.01 0.02	54	0.009	0.008 0.012	39	0.007	0.005 0.011	34	0.02	0.01 0.03	81	0.013	0.009 0.019	8	0.0009	0.0007 0.0016	%
Ag	21	29	13 73	50	11	8 15	50	12	8 16	12	8	4 13	22	3	3 3	9	6	4 13	12	13	10 25	15	7	5 8	62	7	5 8	0	<1		ppm

Tab. 3: Mittelwerte der Buntmetallverteilungen des basalen Zechsteins
Tab. 3: Mean values of the base metal concentration of the basal Zechstein

	MITTELWERTE (ppm)					
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
Cu	57	70	120	100	58	16000
Pb	5	20	240	30	<30	600
Zn	80	<300	79	<300	185	12000
Ag	0.1	<1	3	<1		108
Ni	95	50	27	100	153	125
Co	20	10	17	20	16.5	93
Mo	2	10	12	70	14.5	200
Cr	100	100	52	711	68	
V	130	150	120	150	267	600
Sn	10					
U	3					
Ba	800					
As	13					
Fe	33					

x_1 ROSLER & LANGE - Schiefer
VINE & TOURTELOT (1970)
x_2 average black shale
x_3 Nonesuch shale (Cu-Ag-enriched)
x_4 Chattanooga shale
x_5 FESSER 1968 - Posidonienschiefer (Lias)
x_6 JUNG & KNITSCHKE (1976) (arithmetisches Mittel d Kupferschieferanalysen)

Tab. 2: Mittelwerte vergleichbarer Schiefertypen
Tab. 2: Mean values of similar shales

	Ro			RN			SR			
	n	x̄	± s	n	x̄	± s	n	x̄	± s	
Cu	95	0.04	0.004 0.067	1355	0.01	0.007 0.068	1206	0.01	0.007 0.084	%
Pb	295	0.008	0.001 0.070	2139	0.009	0.001 0.066	1143	0.01	0.001 0.097	%
Zn	95	0.09	0.001 0.088	2133	0.01	0.002 0.078	1206	0.02	0.002 0.110	%
Ag	9	9	3 28	119	5	2 11	101	6	2 14	ppm
Ni	34	26	8 75	95	35	16 75	28	25	11 56	ppm
Co	38	12	4 39	74	22	10 18	28	16	7 37	ppm
Mo	38	19	2 169	90	15	3 65				ppm
Cr	21	60	29	58	102	42				ppm
V	21	58	15 164	76	71	27 186				ppm
Sn	29	34	28 120	23	7	4 13				ppm
U				35	10	5 21				ppm
Ba	5	475	196							ppm
As	1	3	0 4							ppm
Fe^{tot}	11	2.03	1.23							%
Fe^{2+}	11	1.17	0.59							%

Tab. 4: Mittelwerte der Haupt- und Nebenelemente (Gesamtdaten basaler Zechstein)
Tab. 4: Mean values of the major and trace elements (all data of basal Zechstein)

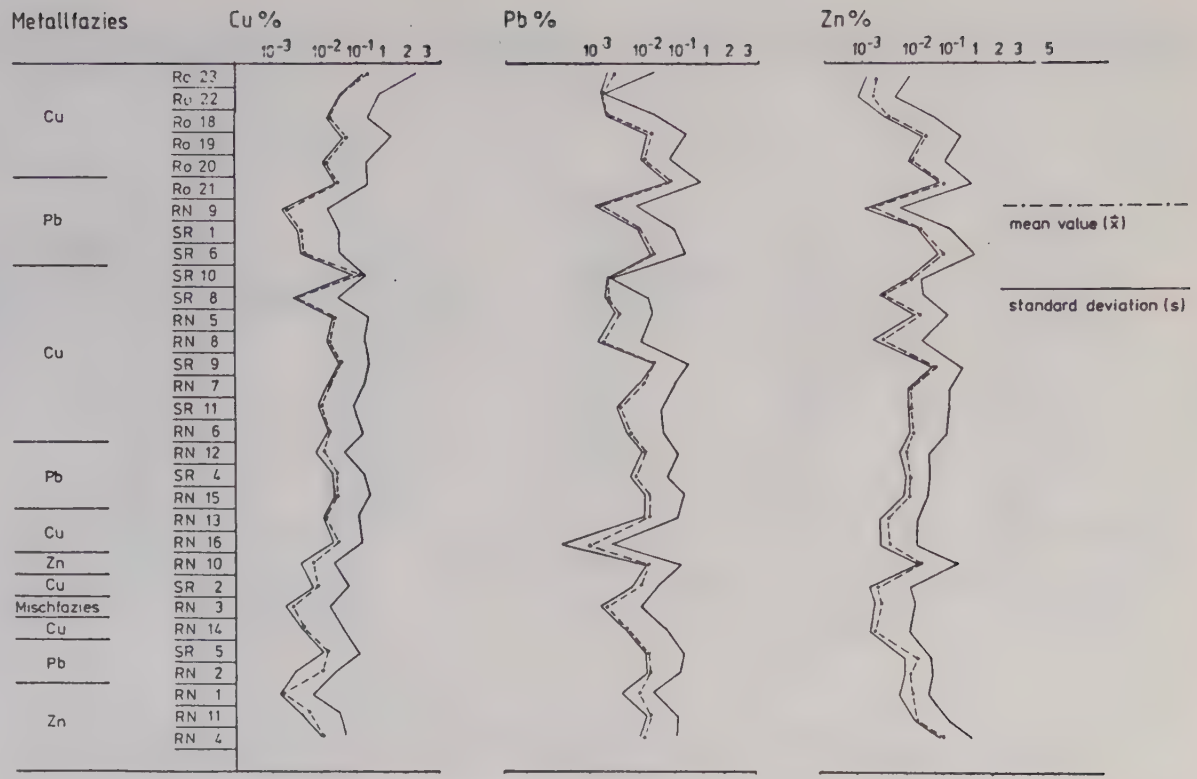


Abb. 36: Mittelwerte und Standartabweichungen der Hauptmetallverteilung in den Bohrungen
Fig. 36: Mean values and standart deviations of the main-metal distributions in the drill holes

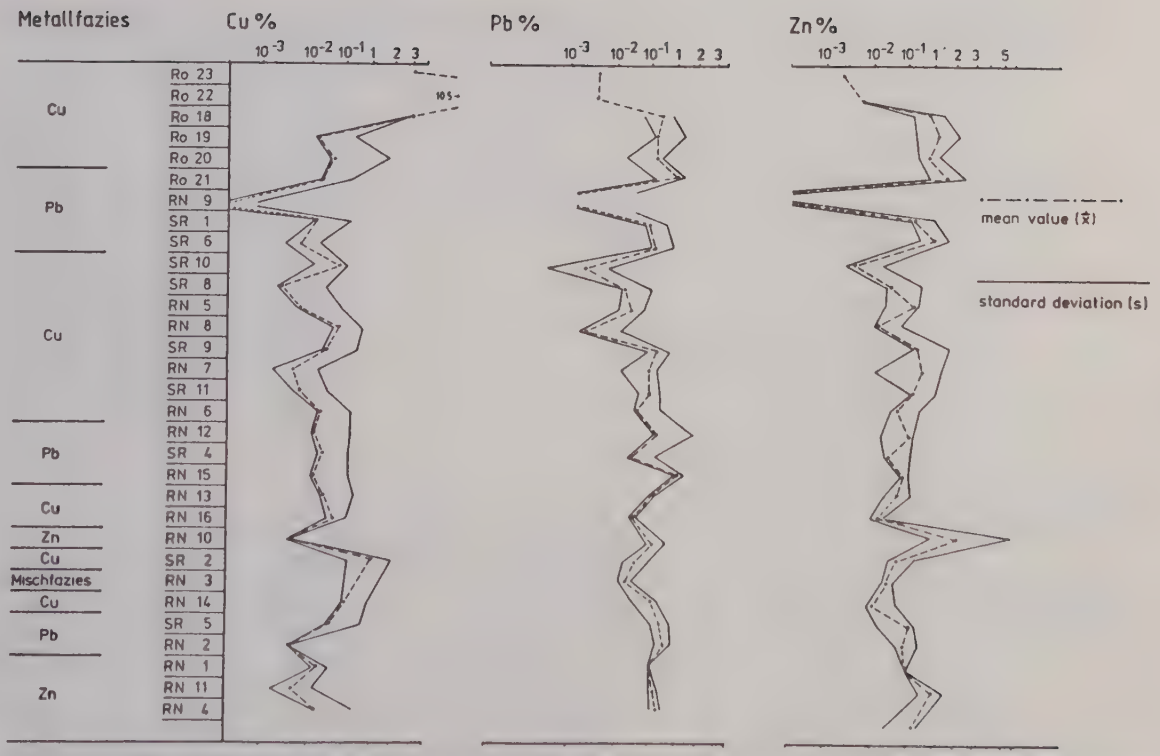


Abb. 37: Mittelwerte und Standartabweichungen der Hauptmetallverteilungen aller Kupferschieferproben
Fig. 37: Mean values and standart deviations of the main-metal distributions of all Kupferschiefer-samples

Abb. 38: Histogramme der Hauptmetallverteilungen des basalen Zechsteins
Fig. 38: Histogrammes of the main-metal distributions of the basal Zechstein

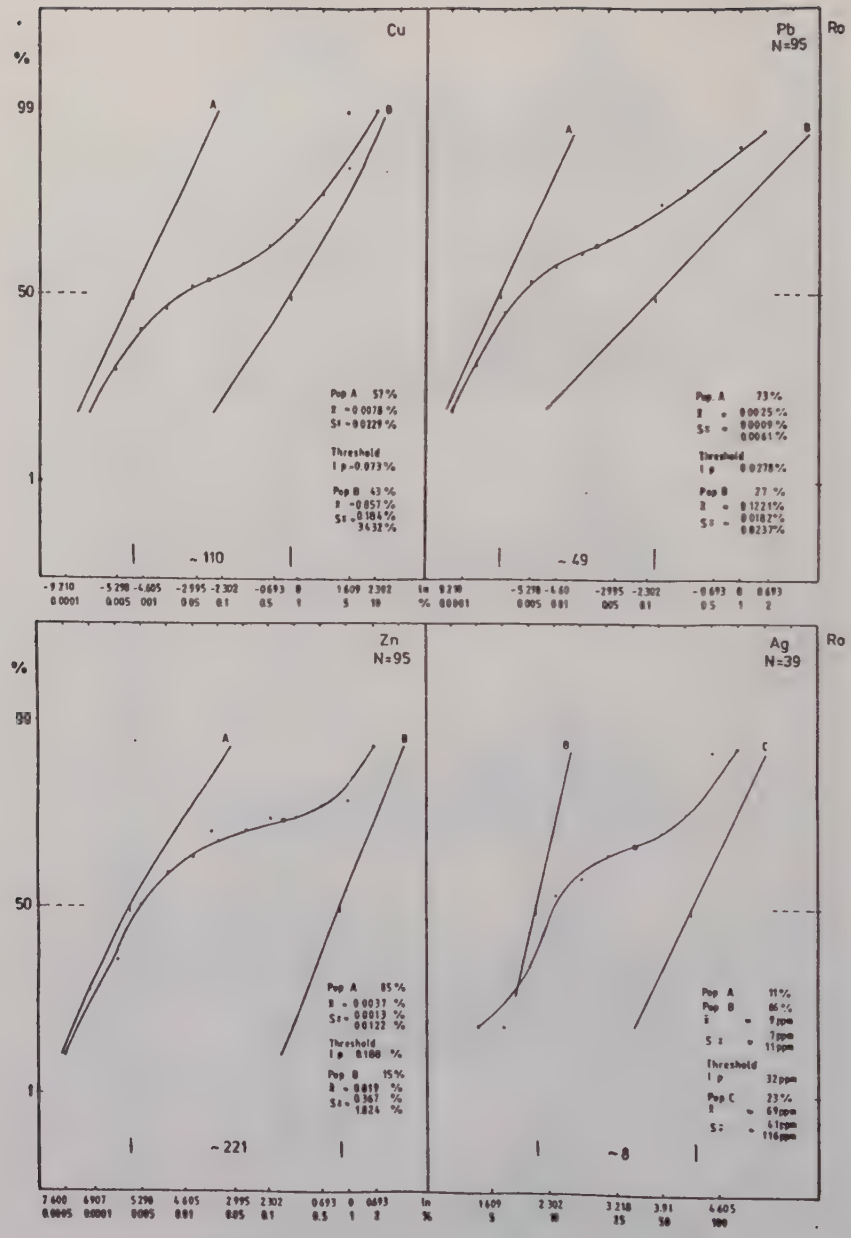


Abb. 39: Kumulative Verteilung der Hauptmetalle mit Populationsanalyse
Fig. 39: Cumulative frequency of the main metals with population analysis

A und B in Abb. 39 im Ronshausener Gebiet näher untersucht. Dabei ergab sich, daß die Mittelwerte der "Background"-Population bei 78 ppm lag, die der anomalen Verteilung dagegen bei 0.85%, was einem Anreicherungsfaktor von 110 entspricht. Dieser hohe Anreicherungsfaktor, der aus Daten eines vererzten Bereiches gewonnen wurde, kann auch im Vergleich der Mittelwerte der Buntmetallgehalte des Kupferschiefers mit denen von Gesteinsmittelwerten anderer Regionen nachvollzogen werden.

Die Mittelwerte der Kupferverteilungen in den Kupferschieferprofilen liegen bei 0,48% in Ronshausen bzw. 0,08% und 0,09% im Gebiet Spessart-Rhön (Tab. 3). Für diese Werte sind bei den RO-Bohrungen Anreicherungsfaktoren von 85 bis 70 im Vergleich zu Schiefern und "average black shales" (Tab. 2, 4) festzustellen. Die von JUNG & KNITSCHKE (1976) angegebenen und gemittelten Daten für verschiedene Partien des Kupferschiefers ergeben mit diesen Daten vergleichbare Werte, woraus zu ersehen ist, daß die Kupferanreicherung von Ronshausen der der Mansfeld-Sangerhäuser Mulde nahekommt. Diese Daten sind aber sicherlich zu hoch, da JUNG & KNITSCHKE (1976) in ihren Tabellen keine Mächtigkeiten angeben und so die Daten nicht nach dem gewogenen Mittel zu berechnen waren.

Die aus dem Gebiet von Spessart-Rhön gewonnenen Mittelwerte sind um den Faktor 10 gegenüber den von VINE & TOURTELOT (1970) angegebenen Mittelwerten erhöht und selbst noch um einen Faktor 7 im Vergleich zu den Werten aus dem "Nonesuch shale" (Tab. 2,3) , der bereits eine außergewöhnliche Kupferanreicherung erfuhr und der die bauwürdige Lagerstätte "White Pine" führt.

Die Mittelwerte der Gesamtdaten des basalen Zechsteins (Tab. 4) weisen deutlich geringere Werte auf, was daran liegt, daß in den beprobten Profilbereich sehr viele Proben mit geringem Gehalt eingehen. Sie liegen allerdings mit 400 ppm (RO-Bohrungen) und 100 ppm (SR-, RN-Bohrungen) im Falle von Richelsdorf noch deutlich höher als die Mittelwerte des Nonesuch shale. Der Anreicherungsfaktor beträgt 3,3. Die Daten aus dem Spessart-Rhön-Gebiet entsprechen dem Mittelwert normaler Gesteine.

Aus der Mittelwertbetrachtung der Metallverteilungen ergibt sich für Richelsdorf (Abb. 40) auch ein klares Bild der räumlichen Position einzelner Bohrungen innerhalb der Kupferzone

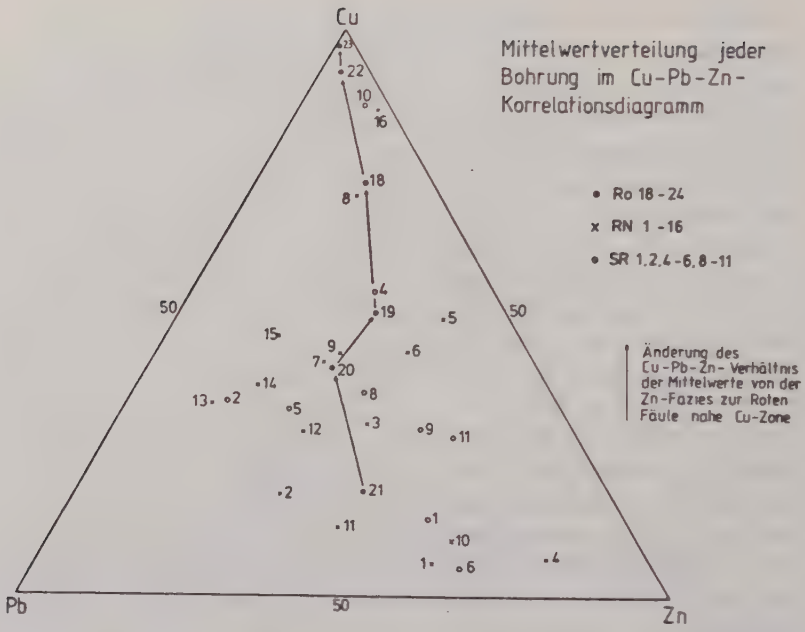


Abb. 40: Position der Bohrungen anhand der Mittelwerte im Cu-Zn-Pb-Korrelationsdiagramm
Fig. 40: Position of the drills in the Cu-Pb-Zn-correlation diagramme

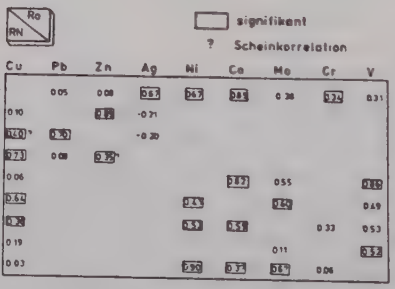


Abb. 41: Korrelationsdiagramm (Gesamtdaten des basalen Zechsteins)
Fig. 41: Correlation diagramme (total data of basal Zechstein)

zur Roten Fäule. Die Entwicklung verläuft von der Bohrung RO 21, die der Blei- Zink-Zone entspricht, bis zur Bohrung RO 23, die der Roten Fäule am nächsten liegt. Diese Verhältnisse stimmen mit dem mineralogischen Befund überein (SCHMIDT in Vorb.) sowie mit der Zonendefinition anhand der Metallverteilungen im 2 m-Berechnungsintervall (Abb. 27). Nur die Bohrung RO 18 zeigt hier eine leicht abweichende Position.

Durch die partielle Überlagerung der maximalen Kupferverteilung mit der von Blei und Zink ergibt sich für Zink eine "Scheinkorrelation" mit Cu, die darauf zurückzuführen ist, daß die Metallzonen bei der Berechnung des Korrelationskoeffizienten nicht getrennt wurden (Abb. 41, 42). Hohe Zinkwerte bei gleichzeitig geringen Kupferwerten repräsentieren die Blei-Zink-Fazies bzw. randliche Bereiche der Kupferzone, in der eine starke Konzentration von Blei und Zink oberhalb des Kupfermaximums erfolgte. Die Population, die durch einen gemeinsamen Anstieg von Kupfer und Zink gekennzeichnet ist, repräsentiert die Bereiche der Kupferzone, in der Kupfer stärker als Zink angereichert ist. Da aber auch Zink (bzw. Blei) fast gleichzeitig mit Kupfer in den Profilen ansteigt,ergibt sich daraus die gute Korrelation, die den rechten Teil des Diagrammes (Abb. 42) kennzeichnet.

4.4.4. Schlußfolgerung

Anhand der Mittelwerte und der maximalen Anreicherung der Buntmetallverteilung sind keine Schlüsse über die epigenetische, wirtschaftliche Mineralisation zu ziehen, sondern nur durch deren räumlichen Bezug zur Roten Fäule und der Lage der Metallverteilungen innerhalb der Bohrprofile. Mit der Mittelwertbetrachtung der 2 m-Sektionen, mit der maximalen Cu-Führung wie auch mit den Mittelwerten der Gesamtdaten des basalen Zechsteins ist die Metallzonalität zu erfassen, als deren Teil die wirtschaftlichen Anreicherungen auftreten.

Aufgrund der schlauchförmigen Gestalt des nachgewiesenen Erzkörpers bei Ronshausen, der Metallzonierung und der Roten Fäule ist in diesem Bereich eine Lagerstätte entwickelt, die

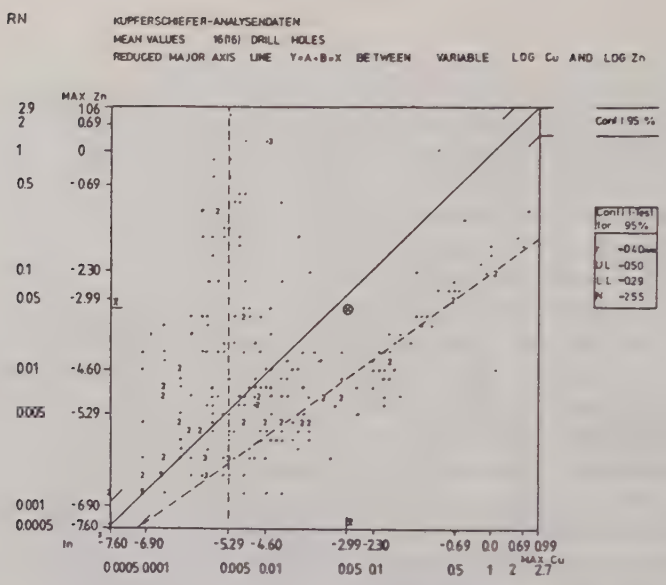


Abb. 42: Korrelationsdiagramm Zn/Cu (Gesamtdaten basaler Zechstein)
Fig. 42: Correlation diagramme Zn/Cu (total data of basal Zechstein)

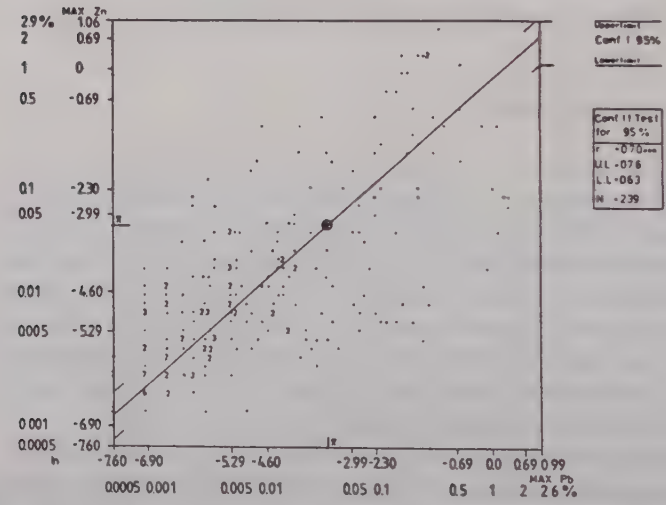


Abb. 43: Korrelationsdiagramm Zn/Pb (Gesamtdaten basaler Zechstein)
Abb. 43: Correlation diagramme Zn/Pb (total data basal Zechstein)

mit den epigenetischen Prozessen, die zur Rote Fäule-Bildung führen, in Zusammenhang zu bringen ist. Diese Lagerstätte unterscheidet sich deutlich von den Mineralisationen im Spessart-Rhön-Gebiet, wo die wesentlich geringeren Kupfermittelwerte im Vergleich zu Ronshausen darauf schließen lassen, daß dort eine Lagerstätte, die an eine Rote Fäule-Fazies gebunden ist, noch nicht aufgefunden wurde.

4.5. Die Blei-Zink-Zone

Ausgehend von der Rote Fäule-Fazies folgt auf die Kupferzone die am weitesten verbreitete Zone des Kupferschiefers, die Blei-Zink-Zone. Diese Zone kann wiederum in eine Blei-Zone, eine Zink-Zone und eine Mischzone gegliedert werden.

In der Nähe von epigenetischen Kupfervererzungen ist auch die Metallverteilung von Pb und Zn von epigenetischen Prozessen stark beeinflußt worden. Ansonsten sind aber die Metallverteilungen der Pb-Zn-Zone mit denen des syngenetisch mineralisierten Kupferschiefers identisch, in denen es nicht zu epigenetischen Kupfervererzungen oder syngenetischen Kupferanreicherungen kam. Dies äußert sich darin, daß in Bohrprofilen aus der Kupferzone sehr hohe Zn- und Pb-Werte vorkommen (Abb. 33, 34), die bei einer syngenetisch angelegten Metallzonierung nicht in der Cu-Zone auftreten dürften, sondern lediglich in der Pb-Zn-Zone (Tab. 3, Abb.33,34).

Regional gesehen liegen zwei Typen der Blei-Zink-Fazies vor. Der eine Faziestyp ist charakteristisch für Beckenbereiche, wie sie mit zunehmender Distanz von der Roten Fäule zu erwarten sind. Dieser Beckentyp ist nördlich der Spessart-Rhön-Schwelle erbohrt worden (Abb. 28; RN 4, 11) und er ist ebenfalls nördlich der Kupferzone bei Ronshausen entwickelt (Abb. 29).

Der zweite Typ erscheint auf Schwellen des Grundgebirges (Abb. 28; RN 3). Dies ist bemerkenswert, denn gerade die Hochlagen sollten Gebieten mit Roter Fäule entsprechen, bzw. zumindest eine erhöhte Kupferführung aufweisen, die durch primär sedimentierte Verhältnisse bedingt ist. Insofern liegt im Spessart-Rhön-Gebiet ein weiterer deutlicher Unterschied zu Arealen mit Rote Fäule-Entwicklung vor. Blei und Zink zeigen

im Profil eine fast identische Verteilung, was sich in ihrer guten Korrelation äußert (Abb. 41, 43) oder bereits in den Bohrprofilen klar ersichtlich ist (Abb. 32). Innerhalb eines Profiles liegt die maximale Bleiführung oft etwas unterhalb der Zinkvormacht (Abb. 32; RO 21), dies ist allerdings keine Regel.

Die mittleren Bleigehalte betragen bei den Daten aus Richelsdorf 0,51%, im Spessart-Rhön-Gebiet dagegen nur 0,3%. Die Zinkwerte sind geringfügig höher: 0,87% bzw. 0,5% (Tab. 3).

Im Vergleich zu den Mittelwerten aus dem als mineralisiert zu betrachtenden Nonesuch shale (Tab. 2) sind die Anreicherungsfaktoren 21 für Pb bzw. 110 für Zn im Richelsdorfer Gebiet. Für das Gebiet Spessart-Rhön sind sie ebenfalls noch höher als im Nonesuch shale, wobei die Anreicherungsfaktoren für Pb 12 bzw. 63 für Zn betragen. Die anomale Metallführung des basalen Zechsteins ist besonders gut anhand der hohen Pb- und Zn-Mittelwerte zu erkennen (Tab. 4), wo Pb 800 ppm und Zn 900 ppm aufweisen. Im Vergleich zum normalen Schwarzschiefer (VINE & TOURTELOT 1970) betragen die Anreicherungsfaktoren hier 40 für Pb und 3 für Zn.

In den Histogrammen der Metallverteilung sind ebenso wie beim Kupfer 2 Populationen vorhanden (Abb. 38). Die zwischen 10 und 40 ppm liegenden Häufigkeitsmaxima entsprechen den Background-Werten der Blei- und auch der Zink-Verteilung. Ebenso wie in der Verteilung des Kupfers deutet sich eine anomale Population an, die für das Gebiet von Richelsdorf näher untersucht wurde.

Die kumulative Häufigkeitsverteilung der Elemente (Abb. 39) bestätigt für das Richelsdorfer Gebiet Background-Werte von 37 ppm Zink und 25 ppm Blei, wobei die Mittelwerte der anomalen Populationen 0,8% Zink und 0,12% Blei aufweisen. Die Anreicherungsfaktoren liegen somit bei 50 bzw. 220 (Abb. 39). Da im Gebiet von Richelsdorf aber nur eine Bohrung in der Blei-Zink-Fazies liegt, charakterisiert die anomale Blei- und Zinkpopulation nur zu einem geringen Teil die Blei- und Zinkzone, sondern sie kennzeichnet auch die randlichen Bereiche der Kupferzone, die sehr hohe Blei- und Zinkwerte aufweisen (Abb. 33, 34), was sich aus dem epigenetischen Ursprung der Buntmetallzonen erklärt.

Diese Tendenz spiegelt sich auch in den Mittelwerten der Metallführung von jeder Bohrung wider (Abb.36,37). In der Bohrung RO 21 ist zwar der höchste Blei- und Zinkmittelwert errechnet worden, aber auch in den Bohrungen der Kupferzone wie RO 18 und RO 19 sind im Vergleich dazu noch sehr hohe Mittelwerte nachzuweisen. Vergleichbar hohe Werte sind im Spessart-Rhön-Gebiet in den Bohrungen RN 4, 10 und SR 6 vorhanden, was sich aus der epigenetisch unterschiedlich starken Mobilisierung der Metalle sowie deren Anreicherung in beiden Arbeitsgebieten erklären läßt. Zwar führt dies zu einer sehr hohen Pb- und Zn-Anreicherung am Rand der Cu-Zone (Abb. 33) und die Abb. 33 zeigt sehr deutlich, daß in der Cu-Zone von Ronshausen die hohen Pb- und Zn-Werte oberhalb der Cu-Maxima auftreten, während sie in Pb- und Zn-Zone näher an der Basis des Kupferschiefers oder auch häufig im Liegenden des Kupferschiefers auftreten (Abb.34). Jedoch zeigen die Werte der Cu-Zone des Spessart-Rhön-Gebietes dagegen keine klare Trennung von Cu, Pb und Zn (Abb. 34). Als Ursache kann dafür nur angenommen werden, daß die Metallanreicherung des Spessart-Rhön-Gebietes nicht zu einer so klaren Zonierung wie in Richelsdorf führte.

4.6. Spurenelemente

Da der Kupferschiefer der wichtigste Erzhorizont des basalen Zechsteins ist und ein wesentlicher Teil des Kupfers vermutlich synsedimentär angereichert wurde, bevor es zu einer epigenetischen Umverteilung und zur Bildung der Lagerstätten kam, ist es zum Verständnis der Mineralisation wesentlich, die sedimentäre, geochemische Fazies des basalen Zechsteins und vor allem des Kupferschiefers näher zu untersuchen. Aus diesem Grunde wurden an einigen Proben Bestimmungen der Neben- und Spurenelemente vorgenommen, um so geochemische Indikationen für die Bedingungen des Faziesraumes zu gewinnen.

4.6.1. Kobalt und Nickel

Kobalt und Nickel sind an Pyrit und auch an organische Substanzen (WAZNY 1965, 1981) gebunden, so daß sie auch im Kupferschiefer eine starke Anreicherung erfahren (BANAS 1980) und sehr gut miteinander zu korrelieren sind (Abb. 41, 45). Die mittleren Kobaltgehalte liegen bei 12-22 ppm (Tab. 4), die Nickelgehalte bei 26-35 ppm (Tab. 4, Abb. 44). Die mittleren Kobaltgehalte entsprechen im basalen Zechstein durchaus der normalen Konzentration dieses Elements in Schiefergesteinen (Tab. 2). Die Nickelgehalte liegen allerdings deutlich niedriger. Der Grund liegt darin, daß zur Mittelwertbestimmung auch Daten aus dem Zechsteinkalk und dem Weißliegenden herangezogen wurden, wo die Nickelgehalte deutlich reduziert sind.

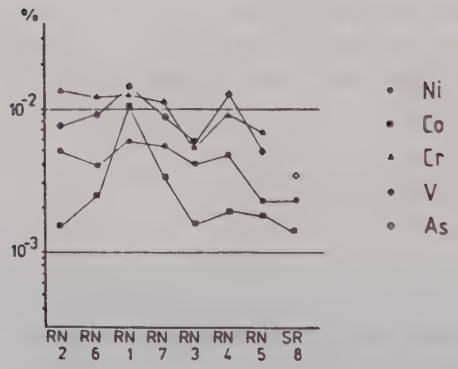


Abb. 44: Mittelwertverteilungen der Spurenelemente in einigen Bohrungen
Fig. 44: Distribution of mean values of trace elements in some drill sections

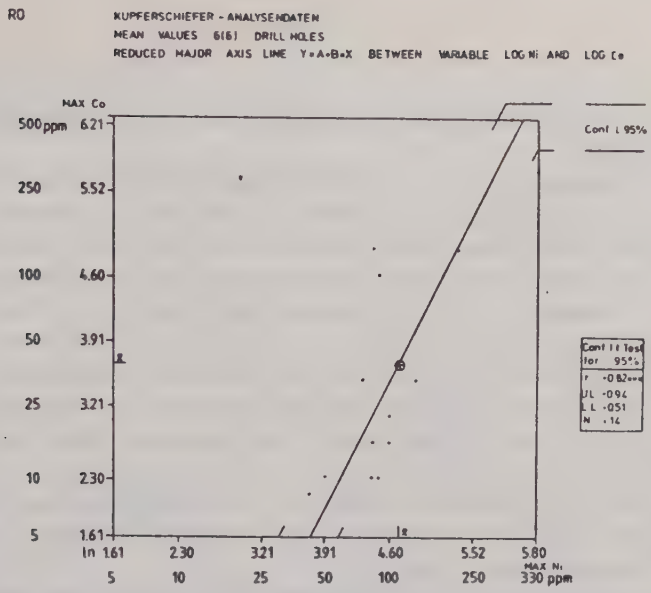


Abb. 45: Korrelationsdiagramm Co/Ni (Gesamtdaten basaler Zechstein)
Fig. 45: Correlation diagramme Co/Ni (total data of basal Zechstein)

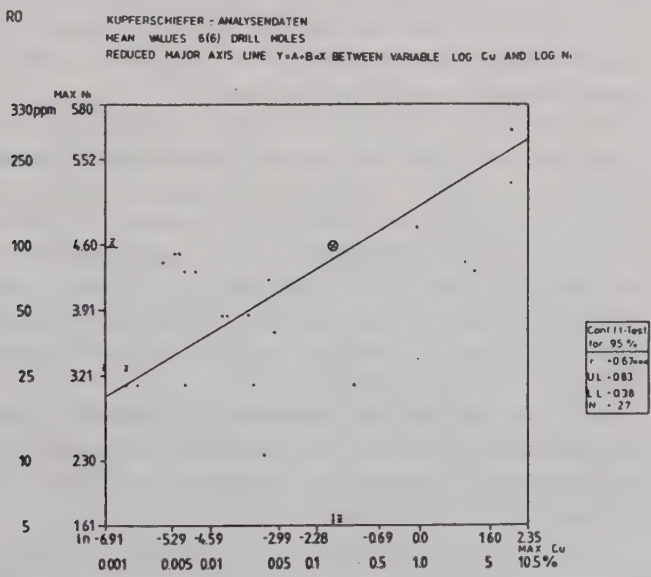


Abb. 46: Korrelationsdiagramm Ni/Cu (Gesamtdaten basaler Zechstein)
Fig. 46: Correlation diagramme Ni/Cu (total data of basal Zechstein)

Maximal können Kobalt und Nickel bis zu 400 ppm angereichert werden.

Grundsätzlich ist der Nickelgehalt deutlich höher als der des Kobalts (Abb. 44, 48-52). Im Bereich bituminöser Lagen des Weißliegenden kann manchmal eine Dominanz des Kobalts vorliegen. Nach JUNG & KNITZSCHKE (1968) sind normalerweise im basalen Teil des Kupferschiefers Kobalt und Nickel stark konzentriert, wobei das Co-Ni-Vehältnis 1:1 beträgt. Der obere Bereich des Kupferschiefers zeigt dagegen eine Nickelvormacht.

Im Weißliegenden ist die Konzentration von Nickel und Kobalt, die bei 20 ppm liegt, fast identisch (Abb. 48-52). Die starke Nickelanreicherung, die besonders im basalen Teil des Kupferschiefers erfolgte, kennzeichnet ihn als einen unter euxinischen Bedingungen gebildeten Schwarzschiefer der Sapropel-Fazies (ERNST 1970).

Nach LOFTUS-HILL & SALOMON (1977) ist ein Kobalt/Nickel-Verhältnis < 1 typisch für sedimentär gebildeten Pyrit. Vulkanische Beeinflussung durch, die eine Änderung des Kobalt-Nickel-Verhältnisses zugunsten des Kobalts hätte hervorgerufen werden können (LOFTUS-HILL & SALOMON 1977), sind im Kupferschiefer nicht nachzuweisen.

Aus dem Richelsdorfer Gebiet ist eine gangförmige Kobaltanreicherung in den sogenannten "Kobaltrücken" bekannt, die auf hydrothermale Zufuhr zurückgeführt werden könnte (SCHÜLLER 1959). Allerdings kann eine damit verbundene sekundäre Veränderung der Spurenelementgehalte im Kupferschiefer als gering angesehen werden, da Elemente, die sicher primär angereichert wurden wie z.B. Vanadium, gute Korrelationen mit Kobalt und Nickel aufweisen (Abb. 41) und auf eine gemeinsame Anreicherung schließen lassen.

Da in den Partien der Kupferzone, die erbohrt wurden, das Kupfermaximum im basalen Teil des Kupferschiefers auftritt, erklärt sich auch die gute Korrelation des Kupfers mit Kobalt und Nickel (Abb. 46).

4.6.2. Chrom und Vanadium

Das Vanadium/Chrom-Verhältnis kann als Indikator für die

RO KUPFERSCHIEFER - ANALYSENDATEN
MEAN VALUES 6181 DRILL HOLES
REDUCED MAJOR AXIS LINE Y=A+B*X BETWEEN VARIABLE LOG Cr AND LOG V

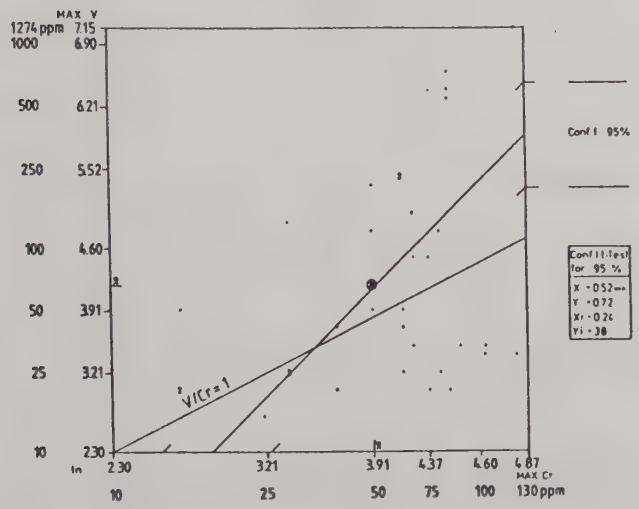


Abb. 47: Korrelationsdiagramm Cr/V Fig. 47: Correlation diagramme Cr/V

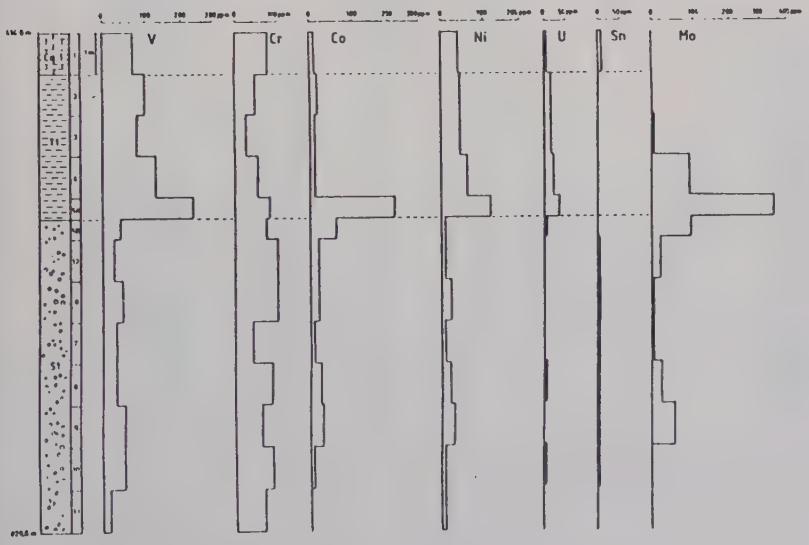


Abb.48: Metallverteilung in der Bohrung RN 5
Fig.48: Metal contents in drill RN 5

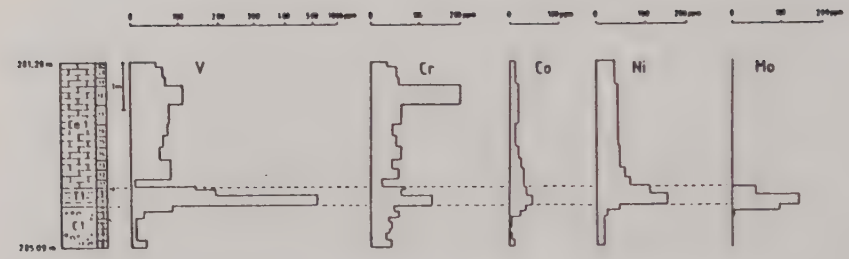


Abb. 49: Metallverteilungen der Bohrung RN 3
Fig. 49: Metal distribution in drill RN 3

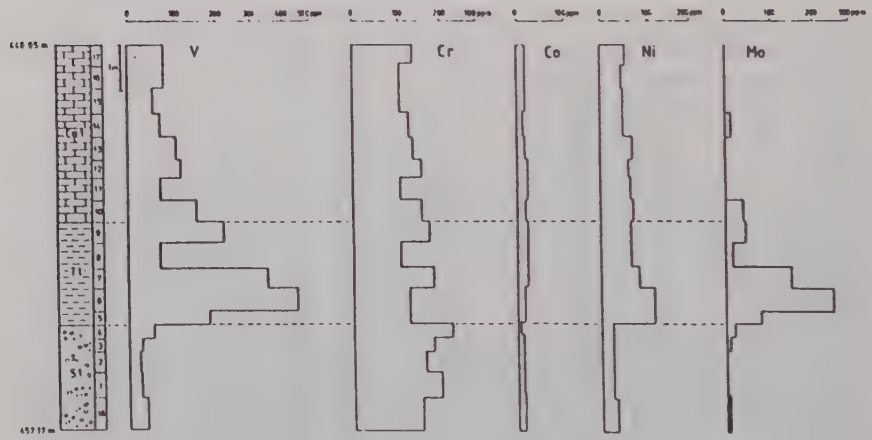


Abb. 50: Metallverteilungen der Bohrung RN 2
Fig. 50: Metal distribution in drill RN 2

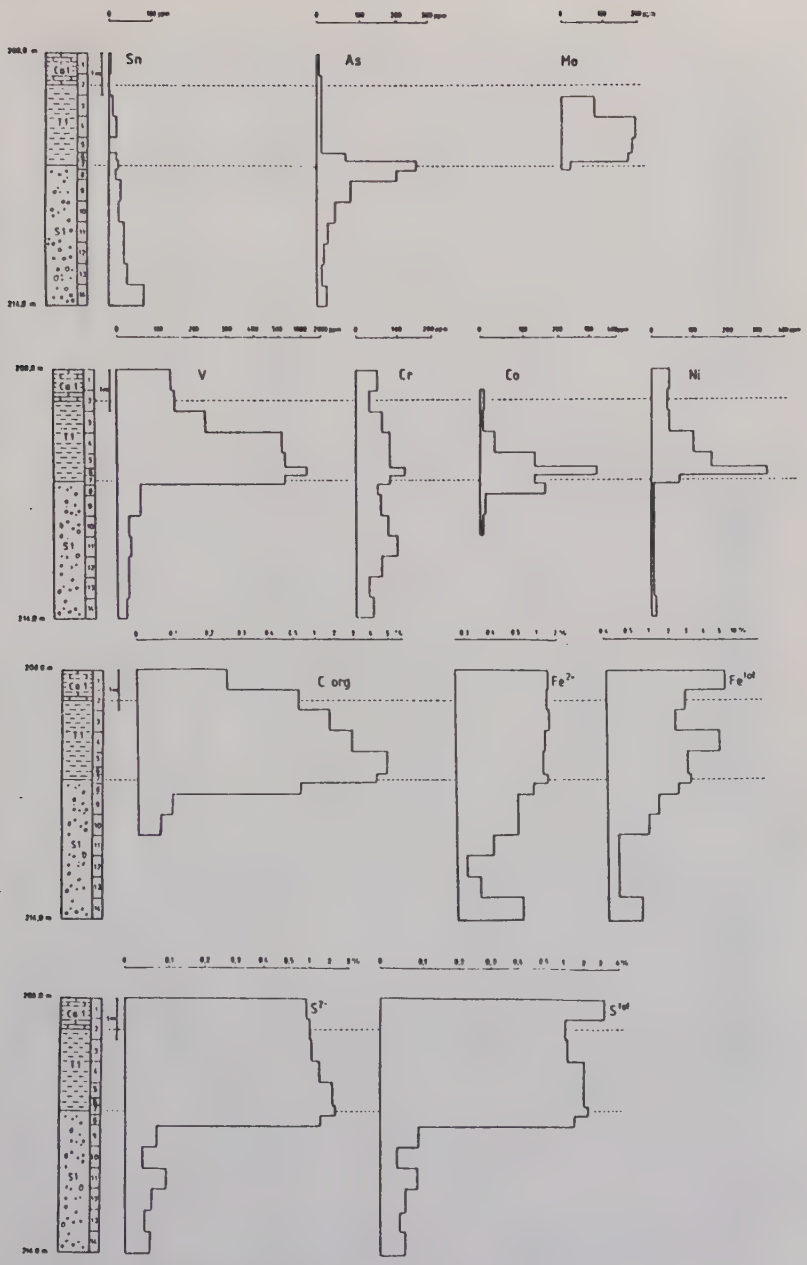


Abb. 51: Metallverteilungen in der Bohrung Ro 18
Fig. 51: Metaldistribution in drill Ro 18

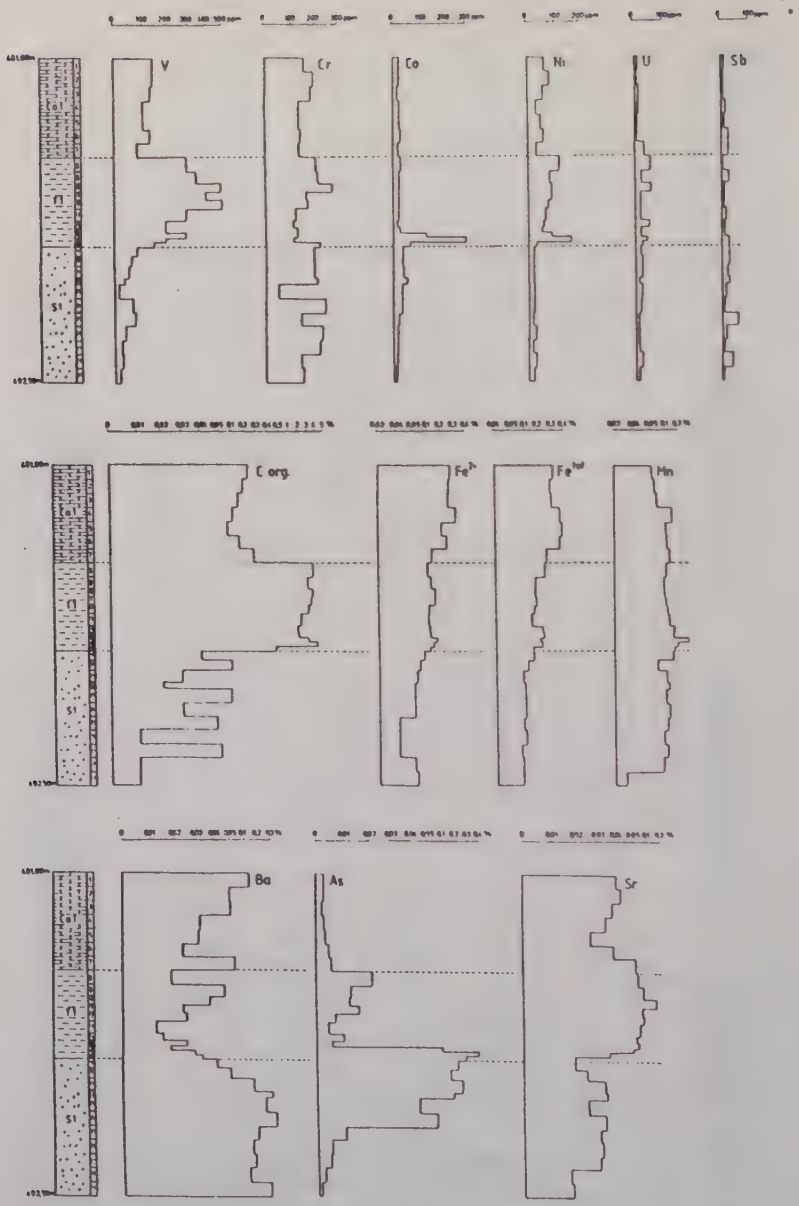


Abb. 52: Metallverteilungen in der Bohrung SR 11
Fig. 52: Metaldistribution in drill SR 11

Redoxbedingungen zur Zeit der Sedimentation genutzt werden (ERNST 1970). Vanadium/Chrom-Verhältnisse, die größer als 1 sind, kennzeichnen danach den Faziesraum als sapropelitisch.

Die Mittelwerte liegen im Richelsdorfer Gebiet für Cr bei 60 ppm und für V bei 50 ppm bzw. im Spessart-Rhön-Gebiet bei 102 und 71 ppm (Tab. 4). Während die Chromgehalte etwa dem normalen Schwarzschiefer entsprechen, sind die Vanadiumgehalte dagegen deutlich reduziert. Weiterhin sind die Mittelwerte beider Metalle in Richelsdorf geringer als im Spessart-Rhön-Gebiet. Die gleiche Tendenz ist beim Nonesuch shale zu beobachten (Tab. 2), der als anomales, Cu-angereichertes Sediment zu bezeichnen ist. Hier liegen die Mittelwerte von 52 ppm Cr und 120 ppm V ebenfalls unter denen von Schiefern oder normalen Schwarzschiefern, aber nicht so deutlich darunter, wie es bei den V-Gehalten aus dem Werra-Fulda-Becken der Fall ist, deren starke Verminderung durch den Anteil von Proben aus dem Weißliegenden und dem Zechsteinkalk zu erklären ist.

In der Profilabfolge ist Chrom relativ gleichmäßig verteilt, Vanadium ist dagegen im Kupferschiefer stark angereichert. Dies ist mit der Bindung des Vanadiums vor allem an die organische Substanz zu erklären, die deutlich ausgeprägter als die des Chroms ist (ERNST 1970). Hieraus ergibt sich die Korrelation von C_{org} und V, die im Profil die gleiche Verteilung aufweisen (Abb. 48). Im Sandstein unterhalb des Kupferschiefers ist der Chromanteil geringfügig höher als der des Vanadiums, ein Umstand, der das Weißliegende als oxidierenden Faziesraum kennzeichnet. Im Kupferschiefer leigt das Vanadium/Chrom-Verhältnis im Bereich von 2-10, was als Kennzeichen für ein Sapropelmilieu zu sehen ist (Abb. 47).

Das Redoxpotential muß zum Ende der Weißliegendzeit abgenommen haben und fand sein Minimum nach der Zechsteintransgression zu Beginn der Kupferschiefersedimentation. Danach wurde die Durchlüftung wieder besser und die Vanadiumgehalte, die hauptsächlich an organisches Material fixiert sind, gingen zurück. Aus der von JUNG & KNITSCHKE (1976) gegebenen Aufstellung sind die gleichen Tendenzen der Vanadiumverteilung für den Mansfelder Raum zu ersehen.

Die Bildung des Kupferschiefers im völlig sauerstofffreien Milieu ist jedoch die Ausnahme. Weitaus größere Bereiche des

Kupferschiefers wurden in weniger euxinischen Bereichen abgelagert. Beispiele sind die Bohrung RO 20 und fast alle Bohrungen des südlichen Werra-Fulda-Beckens. Hier liegen die Vanadium/Chrom-Verhältnisse deutlich niedriger als im Bereich der Kupferzone bei Ronshausen.

4.6.3. Eisen, organischer Kohlenstoff und Schwefel

Die Verteilung von Fe, C_{org} und S sollte die sicherste Schlußfolgerung über die Redoxbedingungen bei der Sedimentation des basalen Zechsteins zulassen. In erster Linie gibt das Verhältnis von sulfidischem Eisen (Fe^{2+}) zu oxidischem Eisen (Fe^{3+}) Hinweise auf die Redoxvorgänge im Sediment. Allerdings muß diese Aussage mit Vorbehalt betrachtet werden, da epigenetische, oxidierende Lösungen diese Verhältnisse sicher gestört haben. Hohe Konzentrationen von C_{org} und Sulfidschwefel sind ebenfalls Indikatoren für reduzierende Bedingungen.

Die Möglichkeit der sekundären Aufoxidation des Sedimentes (RENTZSCH 1974) führt dazu, daß im basalen Zechstein zwar primäre reduzierende Bedingungen relativ leicht festgestellt werden können, primäre oxidierende Verhältnisse dagegen oft durch epigenetische Aufoxidation vorgetäuscht werden.

Eine sekundäre Anreicherung an Bitumina erfuhr das Weißliegende im Bereich der Spessart-Rhön-Schwelle, wo Zwickelbitumen eingewandert ist. Die Konzentration des Bitumens erfolgte dort im Bereich unmittelbar unterhalb des Kupferschiefers, doch die überwiegende Menge des organischen Kohlenstoffes ist auch hier im Kupferschiefer und in bitumenreichen Tonlagen innerhalb des Weißliegenden angereichert worden. Die Gehalte an C_{org} liegen im Kupferschiefer bei 4-5% und gehen im Weißliegenden und im Zechsteinkalk stark zurück (Abb. 50, 51).

Die Hauptanreicherung des Kohlenstoffes geschah an der Basis des Kupferschiefers, wo bereits aufgrund der Vanadium/Chrom-Verhältnisse der am stärksten reduzierte Bereich des basalen Zechsteins identifiziert wurde. Die sapropelitische Anreicherung des organischen Kohlenstoffes in diesem Bereich bestätigt RENTZSCH (1974) auch aufgrund des C/N-Verhältnisses. In Richtung auf die Rote Fäule-Fazies nimmt der Gehalt an orga-

nischem Kohlenstoff, durch epigenetische Oxidation bedingt, in diesem Profilabschnitt beständig ab.

Sulfidschwefel ist ebenfalls im Bereich des Kupferschiefers am stärksten angereichert. Die Maximalwerte liegen bei 2% und 3%. Hohe Sulfatschwefelkonzentrationen sind dagegen z.B. im Zechsteinkalk der Bohrung RO 18 nachzuweisen (Abb. 51). Der hohe Sulfatgehalt ist hier mit Anhydrit zu erklären, der zu einem erheblichen Anteil den Porenraum der Gesteine des basalen Zechsteins füllt und auch in Klüften und Fiedern auftritt. Der Sulfatschwefel ist deshalb mit großer Sicherheit überwiegend epigenetisch in das Sediment gelangt.

Grundsätzlich sind die Sulfatgehalte aber deutlich geringer als die des Sulfidschwefels. Der durchschnittliche Sulfatgehalt liegt im Kupferschiefer, Weißliegenden und Zechsteinkalk bei 0,1%. Die Bohrung RO 24 in der Rote Fäule-Zone bildet hier eine Ausnahme, die auf oxidierende Bedingungen zurückzuführen ist und deshalb hohe SO_4-Gehalte aufweist (Abb. 30). Die sekundäre Oxidation, die in den Sedimenten der Roten Fäule-Fazies erfolgte, läßt sich auch mit den geringen reliktischen Gehalten an Sulfidschwefel in dieser Zone beweisen. Auch aus der Rote Fäule-Zone sind Kupfersulfide bekannt, jedoch nur in sehr geringer Menge (FRIEDRICH et al. 1983).

Das gemeinsame Auftreten von Buntmetallsulfiden und Eisenoxiden belegt, daß es in der Rote Fäule-Fazies nicht zur vollständigen Aufoxidation des Sedimentes mit absoluter Instabilität jeglicher Sulfide kam. Hier bietet sich als Erklärung ein erhöhter pH-Wert bei der Mineralbildung an, unter dessen Einfluß Chalkosin neben Hämatit stabil blieb (TISCHENDORF & UNGETHÜM 1964).

Sulfidschwefel ist wiederum an der Basis des in der Schwarzschieferfazies gebildeten Kupferschiefers, im Bereich des am stärksten reduzierenden Milieus, am höchsten konzentriert. Dies trifft sowohl für die Kupferzone als auch für die Blei-Zink-Zone zu. In der Kupferzone dominiert dort auch das zweiwertige Eisen (Abb. 51). Eine Dominanz des dreiwertigen Eisens liegt z.B. in der Bohrung RO 24 (Abb. 30) vor, wo in den rotgefärbten Bereichen des Weißliegenden, die eindeutig Rote Fäule-Bildungen darstellen, die höchsten Gehalte an dreiwertigem Eisen nachzuweisen sind.

Die gute Korrelation zwischen zweiwertigem Eisen und organischem Kohlenstoff spricht für die sedimentäre Fixierung des Sulfidschwefels, zusammen mit Kohlenstoff. Das Eisen ist vermutlich kein epigenetisch zugeführtes Lagerstättenelement wie z.B. Cu, sondern wurde im basalen Zechstein durch die epigenetischen Prozesse lediglich umgelagert. Dreiwertiges Eisen konnte in Form detritischer Mineralphasen in den Sedimentationsraum gelangen, so daß das Auftreten von dreiwertigem Eisen allein nicht beweiskräftig für eine sekundäre Oxidation ist. Zusammen mit makroskopisch sichtbaren, schichtdurchschlagenden Rotfärbungen ist allerdings sicher zu belegen, daß epigenetische Rote Fäule-Bildungen stattfanden.

4.6.4. Arsen

Arsen tritt im mineralisierten Bereich des basalen Zechsteins als Löllingit oder als Tennantit auf. Durch die Tennantitbildung bedingt ergibt sich die gute Korrelation von Arsen mit Kupfer (Abb. 52). Im nördlichen und südlichen Werra-Fulda-Becken ist Arsen unterschiedlich verbreitet. Der Mittelwert der Arsenverteilung von 3 ppm (Tab. 4) zeigt, daß in Richelsdorf Arsen wesentlich geringer konzentriert ist als im Spessart-Rhön-Gebiet (Abb. 50), wo bis über 1% Arsen im Profilabschnitt mit maximaler Kupferführung auftreten können. Innerhalb der Profilabfolge fallen die Arsen- und Kupferanreicherungen weitgehend zusammen. Im Spessart-Rhön-Gebiet ist diese enge Beziehung zwischen As und Cu durch Tennantit als Hauptkupfermineral zu erklären, während in Richelsdorf nicht nur das arsenhaltige Fahlerz, sondern auch die arsenfreien Kupferreichsulfide auftreten.

Die maximale Arsenkonzentration liegt bei über 1% im Spessart-Rhön-Gebiet (Abb. 53), aber nur bei einigen 100 ppm im Richelsdorfer Gebiet (Abb. 51).

Die Arsenminerale zeigen deutliche Verdrängungsstrukturen, was auf eine Zufuhr und Anreicherung des Arsens in epigenetischen Prozessen hindeutet (DIEDEL 1984). Dies ist auch durch das Auftreten des Fahlerzes in sehr weiten Profilbereichen im Liegenden und Hangenden des Kupferschiefers anzunehmen.

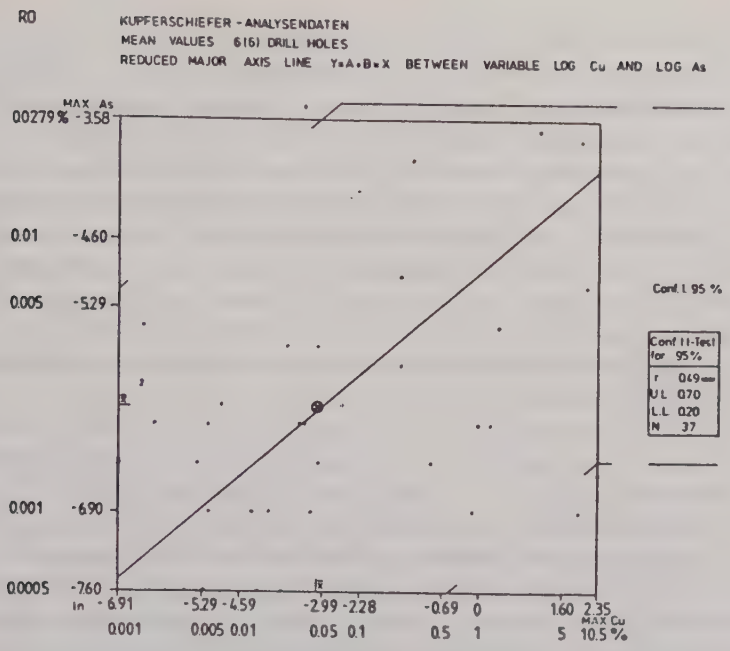


Abb. 53: Korrelationsdiagramm As/Cu
Fig. 53: Correlation diagramme As/Cu

4.6.5. Molybdän

Molybdän hat seine höchste Konzentration im Bereich der bituminösen Gesteine. Dies ist im wesentlichen der Kupferschiefer, im Fall der Bohrung RN 7 dagegen auch das Weißliegende. Die Maximalgehalte liegen bei 400 ppm im Spessart-Rhön-Gebiet , im nördlichen Bereich des Werra-Fulda-Beckens wurden sogar Gehalte bis 700 ppm nachgewiesen. Die durchschnittlichen Gehalte liegen bei 15-19 ppm, was im Rahmen der normalen Schwarzschiefer liegt (Tab. 2).

Die von WAZNY (1981) festgestellte gute Korrelation des Molybdäns mit Kobalt und Nickel kann bestätigt werden (Abb. 41), da Molybdän ebenso wie Nickel und Kobalt in euxinischen Sedimenten angereichert wird (ERNST 1970).

4.6.6. Strontium

In der Bohrung SR 11 (Abb. 52) wurde Strontium bestimmt. Die Gehalte an Strontium variieren nicht sehr stark innerhalb des Profiles, erreichen allerdings eine Konzentration bis zu 0,1%. Durch die Beziehung des Strontiums zur Verteilung des Calciums ist anzunehmen, daß Strontium mit dem Karbonat in den Sedimenten vorliegt. Die Durchschnittsgehalte an Strontium, die WEDEPOHL (1964) für Karbonate angibt, liegen bei 600 bzw. 2000 ppm, so daß im basalen Zechstein keine nennenswerte Anreicherung an Strontium im Vergleich mit "normalen" Sedimenten geschehen ist.

4.6.7. Uran

Uran erreicht Maximalgehalte von 50 ppm im Kupferschiefer. Seine Verteilung ist innerhalb der Gesteinsfolge des basalen Zechsteins keinen großen Schwankungen unterlegen, so daß sich keine wesentlichen Differenzierungen nach der Lithologie oder nach Metallzonen ergeben. Der leichte Anstieg der Uranführung an der Basis des Kupferschiefers kann darauf hindeuten, daß Uran im wesentlichen an organische Substanzen gebunden ist (Abb. 48), vermutlich in Form von Thucholith, das KUCHA (1982) als wesentlich für die Bindung von Pt-Metallen und Gold im basalen Zechstein annimmt.

4.6.8. Zinn

Der durchschnittliche Zinngehalt liegt im basalen Zechstein bei 7 bis 34 ppm (Tab. 4), ist also sehr gering und entspricht nach RÖSLER & LANGE (1976) den durchschnittlichen Gehalten von Tonen.

In der Bohrung RO 19 ist Zinn allerdings an der Basis des Zechsteinkalkes bis zu 0,5% angereichert. Da die fluviatile Beeinflussung am Top des Kupferschiefers schon sehr gering geworden ist und der Zinngehalt allmählich innerhalb des Profils ansteigt, kann diese Zunahme im Zechsteinkalk nur

schwer mit detritischem Zinnstein erklärt werden. Vermutlich ist es auf dem Lösungswege zu einer Imprägnation des Zechsteinkalkes mit Zinn gekommen, vielleicht in Form von Zinnsulfiden. Mikroskopisch sind im basalen Zechstein keine Zinnmineralien nachzuweisen, so daß sich kein Hinweis auf eventuell wirtschaftlich nutzbare Konzentrationen ergibt.

4.6.9. Barium

Am stärksten ist Barium im Liegenden des Kupferschiefers konzentriert (Abb. 52). Im Weißliegenden der Bohrung SR 11 steigen die Bariumgehalte bis zu 0,3% an. Aufgrund der starken Konzentration des Bariums in Sandsteinen ist anzunehmen, daß Barium im wesentlichen detritisch in das Sediment gelangt ist, z.B. in Feldspäten. Als weitere Herkunft des Bariums können die "Rücken" in Betracht gezogen werden, wo durch Imprägnationen auf metasomatischem Weg eine Anreicherung stattgefunden haben könnte. Die regionale Verteilung der Bariumgehalte könnte Gebiete mit gangförmigen Mineralisierungen andeuten, die gemeinsam mit dem Kupferschiefer von bergwirtschaftlicher Bedeutung wären. Die wirtschaftliche Bedeutung der Barytgänge liegt neben dem Schwerspat vor allem beim Kobalt.

4.6.10. Antimon

Nach JUNG & KNITZSCHKE (1976) ist Sb eines der wirtschaftlich unerwünschten Elemente der Kupferschiefervererzung, so daß an zwei Bohrungen der Antimongehalt festgestellt wurde. Antimon ist sehr gleichmäßig im Profil verteilt. In der Bohrung SR 11 konnten Gehalte bis zu 50 ppm nachgewiesen werden, in der Bohrung RO 19 dagegen nur maximal bis zu 15 ppm. Diese Werte liegen in der Größenordnung, die JUNG & KNITZSCHKE (1976) für den Kupferschiefer angeben, im Vergleich mit RÖSLER & LANGE (1976), die 2 ppm angeben allerdings deutlich angereichert.

Eine klare Beziehung zwischen der Antimonverteilung und

der Metallzonierung im basalen Zechstein ist aufgrund der fehlenden regionalen Information nicht zu erkennen.

4.6.11. Mangan

Die Mangangehalte wurden in der Bohrung SR 11 bestimmt. Das Mangan zeigt im Profil eine sehr ausgeglichene Verteilung vom Weißliegenden bis zum Zechsteinkalk. Deshalb ist anzunehmen, daß das Angebot von Mangan sowohl im Weißliegenden als auch im Kupferschiefer und im Zechsteinkalk gleichbleibend gewesen sein muß. Die durchschnittlichen Gehalte liegen um 0,1% (Abb. 52).

Nach WEDEPOHL (1964) sind die Mangangehalte weitgehend an Karbonate gebunden. Im Kupferschiefer sind deshalb vermutlich die Karbonatlagen, im Weißliegenden dagegen detritische Karbonate und Zemente die Träger des Mn. Da bei den epigenetischen Prozessen der Buntmetallmineralisation besonders die Karbonate (Fossilverdrängung, Porenfüllung) angegriffen und modifiziert wurden, ist anzunehmen, daß bei weiteren Untersuchungen Mn ebenso wie Pb, Zn und Cu eine spezifische Position innerhalb der Elementzonierung zuzuordnen ist.

4.6.12. Silber

Neben Kupfer ist Silber das wirtschaftlich wichtigste Element der Lagerstätten des basalen Zechsteins. Silber ist sehr gut mit Kupfer korreliert (Abb. 41, 54) und tritt im basalen Zechstein zusammen mit Kupfer in den Reichsulfiden auf (RENTZSCH 1974), bzw. als Nebenelement im Tennantit (DIEDEL 1984, SCHMIDT in Vorb.).

Die Mittelwerte der Silberverteilungen in den Gebieten Richelsdorf und Spessart-Rhön liegen bei 9 bzw. 5 und 6 ppm (Tab. 4). Dies bedeutet gegenüber normalen Schwarzschiefern (VINE & TOURTELOT 1970) einen Anreicherungsfaktor von ca. 10. Bei den Daten aus dem Gebiet Richelsdorf weist die Background-Population des Silbers einen Mittelwert von 9 ppm auf. Gegenüber dieser Background-Population sind die ano-

malen Silberanreicherungen, deren Mittelwert 79 ppm beträgt, um den Faktor 8 erhöht. Die höchsten Silbergehalte wurden mit 300 ppm festgestellt. Die Ursache der Silberkonzentration ist mit der des Kupfers als identisch zu erachten, da beide Elemente in den selben Mineralien konzentriert wurden.

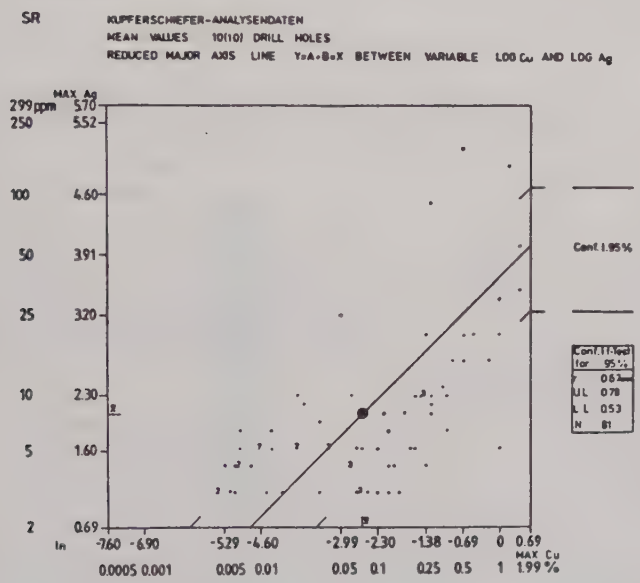


Abb. 54: Korrelationsdiagramm Ag/Cu
Fig. 54: Correlation diagramme Ag/Cu

4.6.13 Phosphor

Phosphorgehalte wurden in zwei Bohrungen bestimmt, der Bohrung RO 23 sowie RO 21 (Abb.55).

Nach REINECK & SINGH (1980) tritt Phosphor bevorzugt in Schelfsedimente auf, die eine geringe Sedimentationsrate und leicht reduzierte Bedingungen aufweisen; charakteristisch ist die Konzentration von Phosphor in Schwarzschiefern. Im Kupferschiefer ist das Phosphor vermutlich an Apatit und nicht Phosphorit gebunden.

Die Phosphorverteilung weist in beiden Bohrungen grundsätzlich die gleiche Tendenz auf. Ein starker Anstieg erfolgt an der Untergrenze des Kupferschiefers im Kontaktbereich zum unterlagernden Weißliegenden. Der kontinuierliche Anstieg ist mit dem Ein-

setzen mariner Bedingungen zu erklären, wobei die maximale Konzentration im basalen Teil des Kupferschiefers mit den stärksten reduzierenden Bedingungen erfolgte. Die Bedeutung des Phosphors liegt in seinem gemeinsamen Auftreten mit Au und den Pt-Metallen (KUCHA 1983), für die es als Indikatorelement dienen kann.

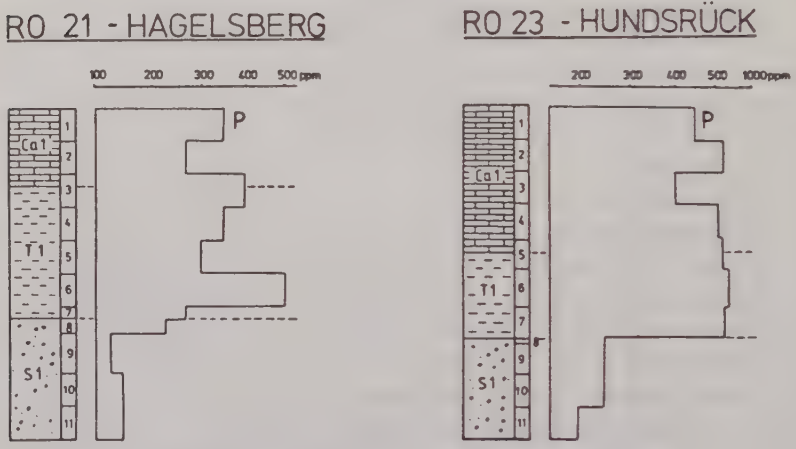


Abb. 55: Verteilung des Phosphors in den Bohrungen RO 21 und 23
Fig. 55: Distribution of phosphor in the drill holes RO 21 and 23

4.6.14. Gold und Platinmetalle

Nach KUCHA (1982) ist im Lubiner Bergbaurevier gelegentlich eine anomale Anreicherung von Gold und Platinmetallen nachzuweisen.

Diese Metallanreicherung erfolgte an der Basis des Kupferschiefers und ist mit bestimmten lithologischen Eigenschaften des Kupferschiefers zu verbinden. Auffallend ist eine hohe Konzentration von Phosphor und Thucholith im edelmetallführenden Kupferschiefer.

Als wesentliche Ursache der Edelmetallkonzentration im Kupferschiefer sieht KUCHA (1982) eine laterale Migration der

Edelmetalle an, die in organischen Relikten angereichert wurden bzw. durch die koagulierende Eigenschaft der Phosphate angereichert wurden. Die entscheidende Konzentration der Edelmetalle ist in einer katalytischen Autooxidation zu sehen, deren Ursache die Radioaktivität des Thucholiths ist. Als höchste Konzentration führt KUCHA (1982) bis 3000 ppm Au, 10-370 ppm Pt und 10-120 ppm Pd im edelmetallführenden Schiefer an. Die Hauptminerale der Edelmetalle sind Pt-Au-Verbindungen, die z.T. als Arsenide und in organischen Verbindungen vorliegen.

Edelmetallanalysen der Proben aus dem Werra-Fulda-Becken konnten keine den polnischen Verhältnissen vergleichbaren Ergebnisse liefern. Die Edelmetallgehalte lagen stets unter der Nachweisgrenze von 1 ppm.

5. Genese

Die Genese der Kupferlagerstätten des mitteleuropäischen Zechsteins ist Gegenstand zahlreicher kontroverser Diskussionen.

Der wichtigste Gegensatz liegt in der entweder syngenetischen oder epigenetischen Betrachtungsweise der Mineralisation. Daneben werden unterschiedliche Meinungen über Ursprung und Transport der Buntmetalle diskutiert, die im basalen Zechstein fixiert wurden.

5.1. Herkunft der Metalle

Sämtliche bekannten Vererzungen des basalen Zechsteins liegen im Bereich des varistischen Orogens, das von permischen Sedimenten überlagert wird (EKIERT 1960).

In jedem Fall sind es Ränder von Rotliegendtrögen - nicht Ränder des Zechsteinmeeres - über denen die bauwürdigen Kupfervererzungen zusammen mit Rote Fäule-Gebieten nachzuweisen sind. Rote Fäule-Areale können allerdings auch in Bereichen des mitteleuropäischen Zechsteinmeeres auftreten, in denen keine Kupferlagerstätten ausgebildet worden sind (JUNG & KNITZSCHKE 1976).

Aus diesen räumlichen Beziehungen ist zu folgern, daß der Ursprung der Buntmetalle entweder in den Gesteinen des varistischen Orogens zu sehen ist (HARRASSOWITZ 1922, SCHNEIDERHÖHN 1949, FULDA 1928, GILLITZER 1936, RICHTER-BERNBURG 1941, KAUTZSCH 1942, MESSER 1955, OELSNER 1959, HOYNINGEN-HUENE 1963, WEDEPOHL 1964, ERZBERGER et al. 1968, OBERC & SERKIES 1968, LURJE 1977) oder in den Rotliegendtrögen, die im varistischen Orogen auftreten.(LANG 1922, GILLITZER 1936, EISENTRAUT 1939, KAUTZSCH 1942).

Die Metalle, die in den Rotliegendtrögen angereichert wurden, sind letztlich aber ihrerseits wieder aus den varistischen Gesteinen des Untergrundes abzuleiten.

Aus dem westlichen Vorland des Thüringer Waldes beschreiben LÜTZNER & RENTZSCH (1975) die Existenz von syngene-

tischen Kupfervererzungen im Rotliegenden. Es existieren demnach Buntmetallvererzungen bereits im Rotliegenden, die nach Umlagerung zur Metallbilanz des basalen Zechsteins beitragen konnten.

Neben Sedimenten des Rotliegenden kommen für die Herkunft der Metalle auch Vulkanite des Rotliegenden in Frage (BEYSCHLAG 1920, KAUTZSCH 1953, SCHÜLLER 1959, EKIERT 1960, KONSTANTYNOWICZ 1965, OBERC & SERKIES 1968). Rotliegendzeitlicher Vulkanismus ist in den permischen Beckenbereichen weit verbreitet (FABER & KOWALCZYK 1979, PLEIN 1980). Allerdings sind die Quarzporphyre, die bisher im Weißliegenden als Gerölle erbohrt wurden, fraglicher Herkunft, da sie ebensogut aus dem Präperm stammen können KOWALCZYK & PRÜFERT 1974).

Weitere Herkunftsmöglichkeiten der Buntmetalle, wie sie RENTZSCH et al. (1976) anführen, werden als wenig wahrscheinlich für die Metallogenese der Gesteine des Werra-Fulda-Beckens angesehen. Hier ist als wichtiger Gesichtspunkt die Abscheidung der Buntmetalle aus dem Meerwasser (BRONGERSMA-SANDERS 1965) zu nennen. Diese Möglichkeit ist aber aufgrund der Bilanzrechnung der im Zechstein auftretenden Buntmetallmengen abzulehnen (WEDEPOHL 1971). Außerdem müßten bei dieser syngenetischen Erklärung in Faziesräumen des Meeres mit identischen Abscheidungsbedingungen vergleichbare Metallanreicherungen nachzuweisen sein. Dies ist aber nicht der Fall, da alle Kupferlagerstätten im Bereich der Südküste des Zechsteinmeeres auftreten.

5.2. Transport und Ablagerung der Metalle

Aufgrund der Interpretation der Ergebnisse der Tiefbohrungen im Werra-Fulda-Becken im Vergleich mit den Arbeiten über die Lagerstätten der DDR und Polens ergibt sich eine komplexe Abfolge der Mineralisation des basalen Zechsteins, die eine dreiphasige Mineralisationsfolge annehmnen läßt (Abb. 56). Diese Abfolge beginnt mit einer sedimentär-syngenetischen Vorkonzentration der Buntmetalle, auf die eine hydrothermal-epigenetische Anreicherung und schließlich eine diagenetisch-epigenetische Zufuhr und Umlagerung der bereits abgeschiedenen

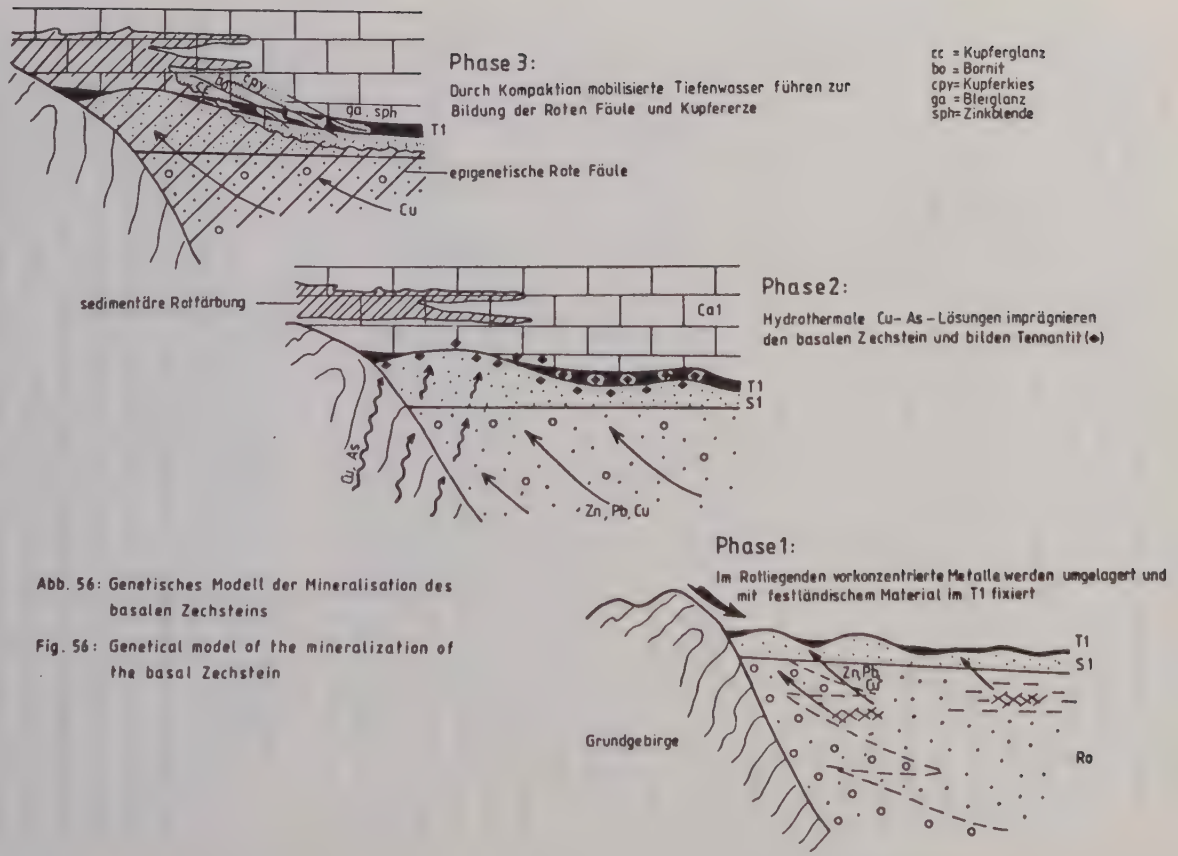


Abb. 56: Genetisches Modell der Mineralisation des basalen Zechsteins

Fig. 56: Genetical model of the mineralization of the basal Zechstein

Buntmetalle erfolgt und mit der Ausbreitung der Rote Fäule-Fazies endet.

5.2.1. Sedimentäre Anreicherung der Buntmetalle (Phase 1)

Durch die rapide Transgression des Zechsteinmeeres innerhalb weniger Jahre (GLENNIE & BULLER 1983) kam es zu einer sehr raschen und vollständigen Überdeckung der gesamten Rotliegend-areale des Werra-Fulda-Beckens mit einem marinen Schwarz-schiefer.

Im Bereich von der Küste des Zechsteinmeeres bis zur Grenze des Werra-Fulda-Beckens entlang der Oberharz-Taunus-Schwelle dehnt sich ein Gebiet aus, in dem der Kupferschiefer in Rand-fazies entwickelt ist. Dieses Gebiet reicht südlich bis in den Spessart hinein. Diese Randfazies ist auch in Polen (OSZCZEPALSKI pers. Mitt.) durch karbonatreiche, mächtige Flachwasser-Äquivalente des Kupferschiefers gekennzeichnet.

Die Beckenfazies mit geringmächtigem, karbonatarmem Kupfer-schiefer mit Zn-Vormacht ist in den zentralen Beckenbereichen verbreitet.

Die Übergangsfazies zwischen beiden ist durch einen hohen Sandanteil gekennzeichnet. Im Bereich dieser Kupferschiefer-fazies treten am Rand der Rotliegendtröge die Mineralisatio-nen und die Rote Fäule auf.

In den sandreichen Barrengebieten des Kupferschiefermeeres werden in der DDR und in Polen die syngenetischen Ansatz-punkte für die epigenetische Rote Fäule gesehen (FRANZ 1965, JUNG & KNITZSCHKE 1976, GERLACH & KNITZSCHKE 1978, PERYT & WAZNY 1980).

In den reduzierenden Bereichen des Zechsteinmeeres fand eine Fixierung von Sulfidschwefel und C_{org} als Folge von biochemischer Reduktion statt (SERKIES et al. 1967). In der normalen Schwarzschieferfazies des Kupferschiefermeeres wurden Buntmetalle in der durchschnittlichen Größenordnung von nor-malem Schwarzschiefer fixiert. In der Normalfazies ist der Kupferschiefer durch eine Zinkdominanz über Cu und Pb ge-kennzeichnet. Nur in relativ wenigen Gebieten kam es zur

Ausbildung nennenswerter Kupferanreicherungen.

Die Lage dieser anomalen Kupferzone, die in Bezug zum darunterliegenden Grundgebirgsrumpf und den Rotliegendtrögen steht, läßt vermuten, daß die Ursache dieser räumlichen Beschränkung der Kupferanreicherung auf spezifische Besonderheiten des Grundgebirgsareals zurückgeht, z.B. Wärmequellen. Deshalb wurden an Kupferschieferproben aus dem Spessart-Rhön-Gebiet, die im Gegensatz zum Gebiet von Richelsdorf eine weiträumige Interpretation erlauben, die Inkohlungsgrade bestimmt (Abb. 57).

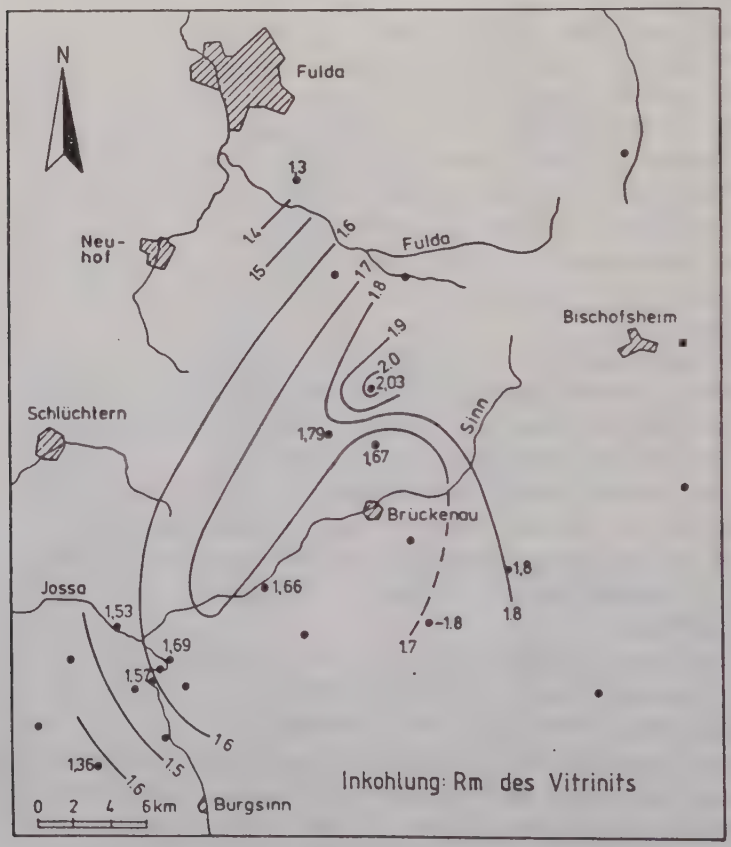


Abb. 57: Inkohlungsgrad Rm des Vitrinits (mittlere Reflexion)
Fig. 57: Coalification Rm of Vitrinite (middle reflexion)

Die Inkohlungen ergeben deutlich einen anomalen Bereich, der sich mit dem Grundgebirgsblock der Rhön deckt. Aus diesem Grund wird gefolgert, daß die hohen Inkohlungen des Kupferschiefers an den Grundgebirgsblöcken mit der erhöhten Wärmeaktivität des Untergrundes zusammenhängen, die als Wärmequelle besonders metallhaltige Wässer erfaßte, welche am Rand der liegendtröge aufstiegen. Diese Verhältnisse waren vermutlich während des Rotliegenden gegeben. Während der Füllung der Becken mit Molassesedimenten bei stetig steigender Kompaktion, bevorzugt in den tiefen, zentralen Beckenbereichen, wurden Wässer mobilisiert, die an die Beckenränder wanderten, wo sie, durch die Aufheizung bedingt, aufstiegen.

Die Metalle, die zur syngenetischen Mineralisation führten, sind einerseits aus Rotliegend-Gesteinen abzuleiten, aus denen sie zusammen mit Sulfaten und Chloriden mobilisiert und dem transgredierenden Zechsteinmeer zugeführt wurden (FULDA 1935, SCHNEIDERHÖHN 1949, LURJE 1977), andererseits ist auch eine hydrothermale Zufuhr aus dem Grundgebirge denkbar.

Die Bereiche des Kupferschiefermeeres, in denen es zu einer bevorzugt primären, syngenetischen Kupferanreicherung kam, sind durch ihre küstennahe Position in verschiedene Randfaziestypen entwickelt, deren paläogeographisch bedingte lithologische Differenzierung die Grundlage zur Entstehung primärer Kupferanreicherungen bildete. Dies war vor allem das Mikrorelief des Ablagerungsraumes des Kupferschiefers, das im Bereich der Rotliegendtröge von Sandbarren und Konglomeratkörpern des Weißliegenden gebildet wurde. Die Sandbarren des Weißliegenden blieben zur Zeit des Kupferschiefermeeres Untiefen mit oxidierenden Faziesbedingungen. In der Umgebung der Sandbarren wurde in tiefen Rinnen massiver, unter reduzierten Bedingungen abgelagerter Kupferschiefer gebildet. Dadurch entstand ein syngenetisches Redoxgefälle, in dessen Abhängigkeit eine zonierte Abscheidung der Buntmetalle Cu-Pb-Zn stattfand. Im Bereich der sandreichen, wenig reduzierenden Kupferschieferfazies wurde vornehmlich Kupfer fixiert, da Blei und Zink als beweglichere Elemente in die tieferen - und damit stärker reduzierenden - Beckenareale verfrachtet und dort angereichert wurden.

5.2.2. Epigenetisch-hydrothermale Anreicherung der Buntmetalle (Phase 2)

Im Bereich der Schlüchterner Mulde, die zentral auf der Spessart-Rhön-Grundgebirgsschwelle liegt, ist bei vermutlich nur sehr geringer Rotliegendbedeckung mit einer Metallzufuhr direkt aus dem Grundgebirge zu rechnen.

Die Mineralisation unterscheidet sich wesentlich von der in Richelsdorf durch das Auftreten von Tennantit als Hauptkupfermineral. Die Paragenese des basalen Zechsteins (DIEDEL 1984, FRIEDRICH et al. 1980-1983) ist identisch mit Fahlerzmineralisationen in Gängen des kristallinen Spessarts (TEUSCHER & WEINELT 1972).

Es liegt die Vermutung nahe, daß Transport und Herkunft der Metalle in beiden Fällen identisch ist, nur daß es im Bereich der Schlüchterner Mulde nicht zur Fixierung der Metalle in Gängen kam, sondern zu einer weiträumigen Mineralisation entlang des Stauhorizontes des Kupferschiefers (Abb. 56) und bis weit in den Zechsteinkalk hinein (SCHUMACHER et al. 1984, DIEDEL 1984). Diese Mineralisationsphase fand demnach nach dem Beginn der Zechsteinkalksedimentation statt.

An der Westbegrenzung des Rhönblockes sind die maximalen Tennantitmineralisationen außerdem deutlich an die Störungssysteme gebunden, die die Rhön im Westen begrenzen (Abb. 28). In diesen Störungssystemen werden die Zufuhrwege der Cu-As-Lösungen vermutet, die den basalen Zechstein metasomatisch überprägten.

Vermutlich ist eine hydrothermale Phase ebenfalls bei der Bildung der Mineralisationen im Richelsdorfer Gebirge sowie in Mansfeld nachzuweisen, wie aus der engen räumlichen Beziehung zu den hydrothermalen "Rücken" zu sehen ist. KRUSCH (1919), GUNZERT (1953) und JUNG (1966) erkannten die Bedeutung der "Rücken" bei der Modifikation der syngenetischen Kupfererze des Kupferschiefers, die sie als Lösungswanderungen entlang der Störungssysteme sahen. KAUTZSCH (1953) sowie SCHÜLLER (1959) nehmen dagegen eine direkte hydrothermale Metallzufuhr in den basalen Zechstein aus den "Rücken" an.

Durch die epigenetische Modifikation der syngenetischen Vererzungen, die mit den Oxidationsprozessen der Roten Fäule in Verbindung stehen, ist mit einer weitgehenden Auflösung

des Tennantits zu rechnen, so daß im Bereich der Lagerstätten, die mit Prozessen der Rote Fäule-Bildung in Zusammenhang stehen, Tennantit kaum nachzuweisen ist. In Richelsdorf ist Tennantit gefunden worden, der von Kupfersulfiden weitgehend verdrängt wurde. DIEDEL (1984) weist für das Spessart-Rhön-Gebiet zwei Tennantitphasen nach, die sich deutlich im Silbergehalt unterscheiden. Vermutlich setzt die hydrothermale Tennantitmineralisation im basalen Zechstein ein, hat ihren Höhepunkt allerdings erst während der saxonischen Mineralisation erreicht, in der die Gänge des Spessarts gebildet wurden (SCHUMACHER et al. 1984, FRIEDRICH et al. 1983).

5.2.3. Epigenetisch-diagenetische Anreicherung der Buntmetalle (Rote Fäule-Typ; Phase 3)

Die wirtschaftlichen Kupfererzlagerstätten des basalen Zechsteins lassen einige Merkmale erkennen, die für ihre epigenetisch-diagenetische Bildung sprechen:

- die reichen Kupfererze sind räumlich immer an das Auftreten von epigenetischer Roter Fäule gebunden (RENTZSCH & THIERGÄRTNER 1972, RENTZSCH 1974, HOYNINGEN-HUENE 1963), die als makroskopisch sichtbare Rotfärbung eine buckelartige Aufwölbung darstellt, deren Top im Extremfall den Zechsteinkalk erreicht, deren breite Basis aber übergangslos aus den Rotsedimenten des Rotliegenden hervortritt.
- die Kupfererze bilden im Lagerstättenbereich einen vom Zechsteinkalk bis in das Weißliegende kontinuierlich abtauchenden diskordanten Erzkörper (EKIERT 1960).
- die Erzminerale weisen die Verdrängungsabfolge Kupferglanz, Buntkupfer, Kupferkies und Tennantit auf (SCHMIDT in Vorb.). Die Erzminerale treten außerdem als Verdrängungen detritischer Partikel sowie Fossilien und auch als Porenfüllungen im Gestein auf (MESSER 1955, LUDWIG & RENTZSCH 1967).

Die Rote Fäule ist in ihrem Ursprung syngenetisch an Hochlagen wie z.B. Sandbarren gebunden, breitet sich von dort aber epigenetisch beckenwärts und in das Hangende aus. Die oxidierenden Lösungen migrieren bevorzugt in permeablen Sandsteinen am weitesten beckenwärts; weniger stark sind die Lösungswanderungen in den weitgehend impermeablen Gesteinen des Kupferschiefers und des Zechsteinkalkes. Durch diese lithologisch bedingte unterschiedliche Migration der Lösungen kommt es zu einer schichtdurchsetzenden Oxidation und Rotfärbung. In den Kerngebieten der Vererzung erreicht deshalb die Rote Fäule auch die höchste lithostratigraphische Position (Abb. 56).

Zeitlich gesehen kann dieser Vorgang bis zur Ablagerung des basalen Werra-Anhydrits reichen, da im Verbreitungsgebiet des Kupferschiefers in der DDR und in Polen die Rote Fäule diese Schicht erreicht. Die Rotfärbungen des Zechsteinkalkes im Werra-Fulda-Becken stehen jedoch in keiner Beziehung zur darunterliegenden Mineralisation. Deshalb ist anzunehmen, daß es sich hier um syngenetische Rotfärbungen handelt. Nur die Rotfärbungen, die im Weißliegenden auftreten, stehen in Beziehung zur Mineralisation und sind damit als Rote Fäule zu identifizieren. Die Rote Fäule-Ausbreitung im Werra-Fulda-Becken scheint nach dem bisherigen Stand der Kenntnisse deshalb die Ablagerung des Kupferschiefers nicht wesentlich überdauert zu haben.

Die oxidierenden Wässer lösen die bereits im Kupferschiefer gebundenen Sulfide und liefern zusätzlich weitere Buntmetalle aus den Rotliegendbecken an. Eisen erweist sich hierbei als kein Lagerstättenmetall, da in der nachgewiesenen Roten Fäule die Konzentration des dreiwertigen Eisens äußerst gering ist. Da die oxidierenden Lösungen, die die Buntmetalle enthalten, in ein stark reduzierendes Milieu vorstoßen, kommt es rasch zu einer zonierten Ausfällung der Buntmetalle in der Abscheidungsfolge Hämatit, Kupferglanz, Buntkupferkies, Kupferkies, Bleiglanz und Zinkblende (Fe^{3+} - Cu - Pb - Zn) als Folge der Löslichkeit der Metallsalze sowie der Redoxreaktionen (SERKIES et al. 1967, TISCHENDORF & UNGETHÜM 1965).

Die Phase 3 ist somit mit Phase 1 vergleichbar, unterbrochen

durch eine zeitweise Cu-As-Metasomatose, wobei die Phase 3 durch Sabkha-Prozesse verursacht wird (MAYNARD 1983).

5.2.4. Sabkha-Modell zur Erklärung der "Rote Fäule-Prozesse"

Bei Schwarzschieferlagerstätten des Typs "Zaire" oder "Nonesuch shale" ist ebenso wie bei der Metallanreicherung des basalen Zechsteins eine Beteiligung von chloridreichen Wässern anzunehmen, die mit einem Sabkha-Prozess in Beziehung zu setzen sind (RENFRO 1974, ROSE 1976). Die Migration von chlorid- und sulfathaltigen Wässern läßt sich aufgrund der Anhydrit- und Gipsführung der permischen Gesteine annehmen.

Weiterhin ist ein Beweis für die Existenz von Sabkha-Prozessen das Auftreten von Kupferreichsulfiden in Gipsfiedern und -lagen, die im Kupferschiefer wie auch im Zechsteinkalk vorkommen.

Der Ursprung der Salze, die bei den Sabkha-Prozessen des basalen Zechsteins anzunehmen sind, liegt vermutlich im Zechstein aber auch im Rotliegenden, wo ebenfalls Lagerstätten vom Kupferschiefertyp auftreten (LÜTZNER & RENTZSCH 1975) und Sabkha-Sedimente nachzuweisen sind.

In den sehr gut aufgeschlossenen Lagerstätten der DDR und Polens sind aber die Rote Fäule-Gebiete, an deren Rand Vererzungen auftreten, bis in den Zechsteinkalk und den Werra-Anhydrit hinein nachzuweisen. Da diese Bildungen in randnahen Meeresbereichen stattfanden, ist ihnen im Beckenbereich bereits der Übergang zur salinaren Entwicklung des basalen Zechsteins entgegenzusetzen. Vermutlich kam es am Ende der Sedimentation des Zechsteinkalkes und dem Beginn der Abscheidung des Anhydritknotenschiefers zu einer starken Konzentration salinarer Wässer, die in die Rotliegendbecken vorstoßen konnten und dort zur Mobilisierung der im Rotliegenden vorhandenen Metalle beitrugen.

Die beim Metalltransport anzuführenden Salze sind sicherlich zu keinem großen Anteil aus dem Werra-Salinar selbst anzunehmen, da die Rote Fäule im Höchstfall den basalen Werra-Anhydrit sowie zeitgleiche Sedimente, den Anhydritknotenschiefer, erreicht. Ferner weisen die Salinare eine Ablaugung im Hangendbereich auf - besonders im Salzhangbereich - aber nicht zum Anhydritknoten-

schiefer. Wandernde salzhaltige Lösungen müssen aber bei der Migration zur Veränderung der primären Salzstrukturen führen.

Die im Richelsdorfer Gebiet nachzuweisenden Assoziationen von Buntmetallen und Evaporiten sind bis in den Zechsteinkalk hinein festzustellen, so daß die Vermutung naheliegt, daß die Sabkha-Prozesse auch hier mit dem Ende der Zechsteinkalksedimentation gleich sind und daß Rote Fäule-Gebiete, die den oberen Ca 1 erreichten, bisher noch nicht gefunden wurden, aber vorhanden sind.

6. Schlußfolgerung

Die Vererzung des basalen Zechsteins mit Kupfer und Silber erweist sich als mehrphasige Mineralisation, bei der sowohl syngenetische wie auch epigenetische Prozesse bei der Lagerstättenbildung anzunehmen sind.

Die Buntmetallvererzung ist an einen charakteristischen lithologischen Fazieswechsel gebunden, dem Übergang von einem terrestrischen Sedimentationsraum zu einem Schwarzschiefermilieu, das schließlich in ein evaporitisches Salzbecken übergeht.

Die Mineralisation ist sowohl zeitlich als auch räumlich als Teil der dynamischen Beckenentwicklung zu sehen. Mächtige terrestrische Molassesedimente waren notwendig, um Buntmetalle vorzukonzentrieren; Wärmequellen im randlichen Untergrund der Rotliegendbecken mußten vorhanden sein, um dort sehr weiträumige Kupferkonzentrationen zu erreichen, die während der Zechsteinmeertransgression in das Schwarzschiefermilieu gelangten und syngenetisch Mineralisationen bildeten.

Die Salzkonzentrationen im Zechsteinmeer, aber auch schon in den Rotliegendbecken, führte zusammen mit der Beteiligung von Wärmequellen zur Mobilisierung von oxidierenden Wässern, die im basalen Zechstein eine epigenetische Metallanreicherung und die Rote Fäule-Fazies entstehen ließen.

Das Einsinken der Rotliegendbecken, die Gestaltung der marinen Ablagerungsräume im ehemals kontinentalen Bereich und die Ursache der Transgression sind auf tektonische Bewegungen zurückzuführen, die auch zur Zerrüttung des Untergrundes und zur Wegbereitung von hydrothermalen Lösungen mit metasomatischen Mineralisationen führten.

Die durch tektonische Bewegungen hervorgerufenen Schwellen- und Beckenverteilungen blieben über weite geologische Zeiträume hinweg stabil, und wichtige Störungszüge weisen eine kontinuierlich wiederholte Aktivität auf. Hieraus läßt sich anhand der oberflächennahen Gegebenheiten auf die paläogeographischen Verhältnisse des basalen Zechsteins schließen, aus denen sich Zielgebiete für die Exploration auf verdeckte Kupferlagerstätten ergeben.

Aufgrund der epigenetischen Natur der Erze und der daraus resultierenden auffälligen Zonierung der Buntmetalle, ergeben sich wiederum Kriterien für die Festsetzung der Explorationsbohrungen in den paläogeographisch als anomal definierten Gebieten. Eine eingehende geologische Bearbeitung der zu kontrollierenden Faktoren bleibt deshalb die einzig sinnvolle Explorationsmethode zum Aufsuchen verdeckter Lagerstätten vom Typ "Kupferschiefer".

7. Literaturverzeichnis

BANAS, M. (1980): Zechstein copper deposits in Poland. - European Copper Deposits, Belgrade.

BANAS, M., SALAMON, W., MAYER, W. (1981): Diagenetic remobilization of heavy metals in Permian copper ores, Fore-Sudetic Monocline, Poland. - Internat. Symposium Central European Permian, Warszawa.

BEYSCHLAG, F. (1920): Zur Frage der Entstehung des Kupferschiefers. - Z.Dtsch.Geol.Ges., 72, 318-328, Hannover.

BEYSCHLAG, F., VOGT, J.H.L., KRUSCH, P. (1916): The deposits of useful minerals rocks. Their origin, form and content. - Vol. 22, MacMillan Co., Ltd., London.

BLASZCZK, J. (1981): Palaeomorphology of Weissliegendes top as the control on facies variability in ore-bearing series of Lubin copper-field, Southwestern Poland. - Geologica Sudetica, Vol. XVI, 1, 195-217, Warszawa.

BLASZCZYK, J., CZARNIECKI, S., PRYMKA, W. (1978): Sedimentation of the lower part of marine Zechstein in the Lubin area (Lower Silesia). - In: Symp. Central European Permian. Abstr. (Ed.: PIATKOWSKI, T.S.), 6-7, Warszawa.

BRANDES, Th. (1912): Sandiger Zechstein am alten Gebirge an der unteren Werra und Fulda und die Kontinuität des Landwerdens in Mitteldeutschland. - Cbl.Mineral usw., 660-671, Berlin.

BRONGERSMA-SANDERS, M. (1965): Metals of the Kupferschiefer supplied by normal seawater. - Geol.Rundschau 55, 365-375, Stuttgart.

CARLÉ, W. (1955): Erläuterungen zur Geotektonischen Übersichtskarte der Südwestdeutschen Großscholle. - 32 S., (Hrsg.Geol.Abt.württ.statist.L.-A.), Stuttgart.

DEUBEL, Fr. (1960): Das Untere Perm in Thüringen und angrenzenden Gebieten. - Wiss.Friedrich-Schiller-Univ. Jena, 9, math.naturw.Reihe, H.3, 10 Abb., Jena.

DIEDEL, R. (1984): Mikrosondenuntersuchungen an Sulfiden des Kupferschiefers der Gebiete Spessart, Rhön und Richelsdorf. - Diplomarbeit (unveröff.), Aachen.

DIETRICH, M. (1965): Fazies und Paläogeographie des Jungpaläozoikums und der unteren Glieder der Werra-Serie im Werra-Fulda-Becken und seinen Randgebieten. - Freiberger Forschungsh., C 193, 55-81, Leipzig.

DITTRICH, E. (1966): Einige Bemerkungen über Rand- und Schwellenausbildungen im Zechstein Südwest-Thüringens. - Ber.dtsch. Ges.geol.Wiss., A, 11, 185-198, Berlin.

DRONG, H.-J., PLEIN, E., SANNEMANN, D., SCHUEPBACH, M.A., ZIMDARS, J. (1982): Der Schneverdinger-Sandstein des Rotliegenden - eine äolische Sedimentfüllung alter Grabenstrukturen. - Z.Dtsch.Geol.Ges., 133, 699-725, 9 Abb., 1 Tab., 5 Taf., Hannover.

EHRENBERG, K.-H., HICKETHIER, H. (1971): Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen, 1:25 000 Blatt 5623 Schlüchtern, 298 S., 46 Abb., 16 Tab., Wiesbaden.

EISENTRAUT, O. (1939): Der niederschlesische Zechstein und seine Kupferlagerstätte. - Arch.f.Lagerstättenforsch., 71 (N.F.), Berlin.

EKIERT, F. (1960): Neue Anschauungen über die Herkunft des in den Sedimenten des Unteren Zechsteins auftretenden Kupfers. - Freiberg.Forschungsh., C 79, 190-201.

ERNST, W. (1970): Methods in geochemistry and geophysics, 2. geochemical facies analysis. - 152 S., Amsterdam, London, New York (Elsevier).

ERZBERGER, R., FRANZ, R., JUNG, W., KNITZSCHKE, G., LANGER, M., LUGE, J., RENTZSCH, H. und RENTZSCH, J. (1968): Lithologie, Paläogeographie und Metallführung des Kupferschiefers in der Deutschen Demokratischen Republik. - Geologie, 17, 776-791, Berlin.

FABER, P., KOWALCZKY, G. (1979): Die Herkunft der "Porphyr"-Gerölle im Rotliegenden Süd-Hessens. - Geol.Rundschau., 68, H.2, 805-824, Stuttgart.

FALKE, H. (1971): Zur Paläogeographie des kontinentalen Perms in Süddeutschland. - Abh.hess.L.-Amt Bodenforschung., 60, 224-234, 4 Taf., Wiesbaden.

FALKE, H. (1972): The Continental Permian in North- and South-Germany. - 43-113, in the "Rotliegend. Essay on European Lower Permian" ed. by FALKE, BRILL, Leiden.

FESSER, H. (1968): Zur Geochemie des Posionienschiefers in Nordwestdeutschland. - Beih.geol.Jb., 58, 220-285, Hannover.

FLÜGEL, E. (1978): Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. - Springer-Verlag Berlin, 33 Taf., 68 Abb., 57 Tab., Heidelberg.

FLÜGEL, E., KIRCHMAYER, M. (1962): Zur Terminologie der Ooide, Onkoide und Pseudooide. - N.Jb.Geol.Paläont., Monatshefte, 1962/3, 113-123, 2 Abb., Stuttgart.

FRANZ, R. (1965): Metallfazies und Rote Fäule im Unteren Zechstein bei Spremberg-Weisswasser. - Freiberg. Forschungsh., C 193, 41-54, Leipzig.

FREESE, C., JUNG, W. (1965): Über die Rotfärbung der Basalschichten des Zechsteins (Rote Fäule) und ihre Beziehungen zum Nebengestein im südöstlichen Harzvorland. - Freiberg. Forschungsh., C 193, 9-23, Leipzig.

FREYBERG, B.v. (1932): Paläogeographie der Zechsteinriffe Thüringens. - Aus der Heimat, 45, 33-45.

FREYBERGER, S.G., AHLBRANDT, T.S. (1979): Mechanism for the formation of eolian sand seas. - Z.Geomorph.N.F., 23, 4, 440-460, Berlin, Stuttgart.

FRIEDRICH, G., DIEDEL, R., HÜNTER, H., KOTNIK, M. (1980-1983): Berichte zur Mineralogie des basalen Zechsteins der Bohrungen der St. Joe Exploration GmbH. - unveröffentlicht.

FULDA, E. (1928): Zum Problem des Kupferschiefers. - Jahrb. Preuss.Geol.Landesanst., 49, 995-1002.

FULDA, E. (193-): Handbuch der vergleichenden Statigraphie, Zechstein. - Berlin.

FULDA, E., HÜLSEMANN, P. (1930): Erläuterungen zur Geologischen Karte Blatt Eisleben. - Berlin.

FÜCHTBAUER, H. (1968): Carbonate sedimentation and subsidence in the Zechstein basin (Northern Germany). - In: Recent developements in carbonate sedimentology in central Europe (eds. MÜLLER, G., FRIEDMAN, G.), 196-204, Berlin, Heidelberg, New York.

GERLACH, R., KNITZSCHKE, G. (1978): Sedimentationszyklen an der Zechsteinbasis (Z1) im südöstlichen Harzvorland und ihre Beziehungen zu einigen bergtechnischen Problemen. - Z.angew.Geol., 24, 214-221, Berlin.

GILLITZER, G. (1936): Die Geologie der Erzanreicherungen im mitteldeutschen Kupferschiefer. - Jb.Hall.Verb., Bd. 15.

GLENNIE, K.W. (1972): Permian Rotliegendes of Northwest Europe interpreted in light of modern desert sedimentation studies. Bull.Am.Ass.Petrol.Geol., 56, 1048-1071, Rijswikj.

GLENNIE, K.W., BULLER, A.T. (1983): The Permian Weissliegend of NW Europe: the partial deformation of eolian dune sands caused by the Zechstein transgression. - Sedimentary Geology, 35, 43-81, Amsterdam.

GLENNIE, K.W., MUDD, G.C., NAGTEGALL, P.J.C. (1978): Depositional environment and diagenesis of Permian Rotliegendes sandstones in Leman Bank and Sole Pit areas of the UK southern North sea. - Journ.Geol.Soc., 135 (1), 25-34.

GUNZERT, G. (1953): Über die Bedeutung nachträglicher Erzverschiebungen in der Kupferschieferlagerstätte des Richelsdorfer Gebirges. - Notizbl.hess.L.-Amt Bodenforsch., 81, 258-283, Wiesbaden.

HARRASSOWITZ, H. (1922): Aride Erzanreicherungen und die Entstehung des Kupferschiefers. - Ber.Vers.Niederrhein. Geol.Ver., Bonn.

HERRMANN, A. (1956): Der Zechstein am südwestlichen Harzrand. - Geol.Jb., 72, 1-72, Hannover.

HOFFMANN, W. (1924): Erzführung und Erzverteilung des Mansfelder Kupferschiefers und die hieraus sich ergebende mineralbildenden und umbildenden Vorgänge im Kupferschiefer. - Jb.Hall.Verb., 4, 278-324.

HOYNINGEN-HUENE, E.v. (1963): Zur Paläohydrologie des Oberrotliegenden und des Zechsteins im Harzvorland. - Ber. Geol.Ges. H.1.

HUMMEL, K. (1929): Die tektonische Entwicklung eines Schollengebirgslands (Vogelsberg und Rhön). - Fortschr.Geol.u.Paläont., 8, H. 24, Berlin.

JANKOWSKI, G., JUNG, W. (1962): Zum Zechsteinkalk (Ca1) im Bereich der Sangershäuser und der Mansfelder Mulde. - Geologie, Jg. 11, H. 8, 869-996, Berlin.

JORDAN, H. (1969): Zur Biostratigraphie und Fazies des Zechsteins im Germanischen Becken, unter besonderer Berücksichtigung des Thüringer Beckens. - Freiberg.Forschungsh., C 245, 27-45, Leipzig.

JUNG, W. (1960): Die Sedimentationsverhältnisse während des Oberrotliegenden und des Zechsteins im SE-Harzvorland. - Z.f.angew.Geol., H. 12, Berlin.

JUNG, W. (1966): Zechstein. - In: Grundriss der Geologie der DDR, Akademie, 219-237, Berlin.

JUNG, W., KNITZSCHKE, G. (1976): Kupferschiefer in the German Democratic Republic (GDR) with special reference to the Kupferschiefer deposits in the southeastern Harz foreland. - In: WOLF, K.H., edi.: Handbook of stratobound and stratiform ore deposits; regional studies and specific deposits, Vol. 6, Cu, Zn, Pb and Ag deposits; 353-406, Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York.

JUNGWIRTH, J., SEIFERT, J. (1966): Zur Stratigraphie und Fazies des Zechsteins in SW-Thüringen. - Geologie, Jg. 15, H. 4/5, 385-635, Berlin.

KÄDING, K. (1978): Stratigraphische Gliederung des Zechsteins im Werra-Fulda-Becken. - Geol.Jb.Hessen, 106, 123-130, Wiesbaden.

KÄSTNER, H. (1969): Über schwankende Sedimentationsbedingungen im subsalinaren Zechstein 1 des Werra-Kaligebietes. - Geologie, Jg. 18, H. 7, 771-886, Berlin.

KATZUNG, G. (1972): Stratigraphie und Paläogeographie des Unterperms in Mitteleuropa. - Geologie, Jg. 21, H. 1-10, 570-584, Berlin.

KATZUNG, G. (1975): Tektonik, Klima und Sedimentation in der Mitteleuropäischen Saxon-Senke und in angrenzenden Gebieten. - Z.geol.Wiss., 3, H. 11, 1453-1472, 2 Abb., Berlin.

KAUTZSCH, E. (1942): Untersuchungsergebnisse über die Metallverteilung im Kupferschiefer. - Arch.f.Lagerstättenforsch., H. 74, 42 S., 3 Taf., Berlin.

KAUTZSCH, E. (1953): Tektonik und Paragenense der Rücken im Mansfelder und Sangershäuser Kupferschiefer. - Geologie, 2, 4-24.

KERKMANN, K. (1967): Zur Kenntnis der Riffbildungen in der Werra-Serie des thüringischen Zechsteins. - Freiberg. Forschungsh., C 213, 123-144, 5 Taf., Leipzig.

KOCUREK, G. (1981): Significance of interdune deposits and bounding surface in eolian dune sand. - Sedimentology, 28, 753-780.

KONSTANTYNOWICZ, E. (1965): Signs of mineralization in the Zechstein of the North Sudetic Syncline. - Pol.Akad.Nauk, Prace geol. 28, 100 S., 9 pl., Warszawa.

KOWALCZYK, G., PRÜFERT, J. (1974): Gliederung und Fazies des Perms in der Wetterau (Hessen). - Z.Dt.Geol.Ges., 125, 61-90, Hannover.

KOWALCZYK, G., PRÜFERT, J. (1978): Exkursion F in das Oberrotliegende und den Zechstein am Rande von Spessart und Vogelsberg am 1. April 1978. - Jber.Mitt.oberrhein.geol. Ver., N.F. 60, 87-108, 7 Abb., 1 Tab., Stuttgart.

KOWALCZYK, G., MURAWSKI, L., PRÜFERT, J. (1978): Die paläogeographische und strukturelle Entwicklung im Südteil der Hessischen Senke und ihrer Randgebiete seit dem Perm. - Jber.Mitt.oberrhein.geol.Ver., N.F. 60, 181-205, Suttgart.

KRIEBEL, U. (1967): Das Grauliegende und die Zechstein-Basis-Sedimente im südöstlichen Harzvorland. - Geologie, Jg. 16, H. 4, 414-424, Berlin.

KRUSCH, P. (1919): Die Verteilung der Metallgehalte (Kupfer, Silber, Molybdän und Vanadium) im Richelsdorfer Kupferschiefer, ein Beitrag zur Genesis des Flözes. - Z.prakt. Geol., Jg. 27, Halle.

KUCHA, H. (1982): Platinum-Group Metals in the Zechstein Copper Deposits, Poland. - Econ.Geol. 77, 1578-1591.

KUCHA, H. (1983): Precious metal bearing shale from Zechstein Copper Deposits, Lower Silesia, Poland. - Trans.Inst.Min. Metall. (Sekt. B: Appl. earth sci.), 92, 72-79.

KULICK, J. (1968): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen, 1:25 000 Blatt 4719 Korbach, 272 S., 32 Abb., 8 Taf., 8 Diagr., 15 Tab., 2 Beibl., Wiesbaden.

KURZE, M. (1962): Zur Geologie der Stickstoff- und Kohlenwasserstoffvorkommen im Bereich der Sangershäuser und Mansfelder Mulde. - Z.angew.Geol., 8, 453-456, Berlin.

LAEMMLEN, M. (1963): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen, 1:25 000 Blatt 5223 Queck, 327 S., 21 Abb., 7 Tab., 13 Diagr., 22 Textpr., 18 Taf., Wiesbaden.

LAEMMLEN, M. (1967): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen, 1:25 000 Blatt 5124 Bad Hersfeld, 280 S., 16 Abb., 10 Tab., Wiesbaden.

LAEMMLEN, M. (1970): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen, 1:25 000 Blatt 5523 Neuhof, 2. Aufl., 274 S., 30 Abb., 5 Tab., 3 Beibl., Wiesbaden.

LAEMMLEN, M. (1975): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen, 1:25 000 Blatt 5225 Geisa, 2. Aufl., 274 S., 39 Abb., 11 Tab., 1 Taf., 1 Beibl., Wiesbaden.

LAEMMLEN, M., PRINZ, H. (1968): Der Heubacher Graben im westlichen Rhönvorland als Teilstück der Grabenzone Heubach - Thalau - Friesenhausen. - Notizbl.hess.L.-Amt Bodenforsch., 96, 137-156, 1 Abb., Taf 6-7, Wiesbaden.

LANG, R. (1922): Der mitteldeutsche Kupferschiefer als Sediment und Lagerstätte. - Jahrb.Hall.Verb., 3, 1-135.

LEIFELD, D., KULICK, J. (1981): Regionale Erkundung des Kupferschiefers in Hessen im Vorfeld industrieller Exploration. - Statusseminar, Min. Rohstoffe, Hannover.

LEIFELD, D. et al. (1983): Bundesbohrprogramm - Teilprojekt Kupferschiefer; Petrofazielle und chemische Erkundung des Kupferschiefers der Hessischen Senke und des Harz-W-Randes sowie parallel laufende Erprobung neu entwickelter Bohrtechnologien; Abschlußbericht, unveröff. - BGR Hannover

LOFTUS-HILLS, G., SOLOMON, M. (1974): Cobalt, Nickel and Selenium in Sulphides as Indicatores of ore genesis. - In: LEVINSON, A.A., (1974), Introduction to Exploration Geochemistry: Applied Publishing Ltd., 612 p., Calgary, Canada.

LUDWIG, H., RENTZSCH, J. (1967): Das Sanderzproblem - ein Beitrag zur Genese des Kupferschiefers. - Ber.Dtsch.Ges. Geol.Wiss., Reihe B, 3-12.

LURJE, A.M. (1977): Zur Herkunft des Kupfers in den Basis-Schichten des Zechsteins und der Kasan-Stufe. - Z.angew. Geol., Bd. 23, H. 6, Moskau.

LÜTZNER, H., ELLENBERG, J., FALK, F. (1981): Sedimentology and basin development of Rotliegend deposits in the Saale through. - Intern.Symp.Central European Permian, 239-253, Warszawa.

LÜTZNER, H., FALK, F., ELLENBERG, J., GRUMBT, E. (1974): Tabellarische Dokumentation klastischer Sedimente. - Akad.Wiss.DDR, Zentralinst.f.Physik d.Erde, Nr.20, Potsdam.

LÜTZNER, H., RENTZSCH, J.)1975): Sedimentation und Metallogenie in einem intramontanen Becken der varistischen Molasse. - Z.geol.Wiss., 3 (11), 1473-1490, 5 Abb., 5 Tab., Berlin.

MADER, D. (1982): Sedimentologie und Genese des Buntsandsteins in der Eifel. - Z.Dt.Geol.Ges., 133, 257-307, 10 Abb., 5 Tab., 3 Taf., Hannover.

MAYNARD, J.B. (1983): Geochemistry of sedimentary ore deposits. - Springer-Verlag New York, 305 S., 149 Abb.

MESSER, E. (1955): Kupferschiefer, Sanderz und Kobaltrücken im Richelsdorfer Gebirge (Hessen). - Hess. Lagerstättenarch.,

NEMEC, W., POREBSKI, S.J. (1977): Weissliegendes Sandstones: a transition from fluvial-eolian to shallow-marine sedimentation (Lower Permian of the Fore-Sudetic Monocline). 1. Sedimentary structures and textural differentiation. - Ann.Soc.Geol. Pologne, 67, H. 3, 387-418, Krakow.

OBERC, J., SERKIES, J. (1968): Evolution of the Fore-Sudetian copper deposits. - Econ.Geol., 63, 372-379.

OPPERMANN, S.A. (1971): Die Zechstein-Basissedimente des Richelsdorfer Gebirges. - Abh.hess.L.-Amt Bodenforsch., 60, (Tobien Festschrift), 283-287, Wiesbaden.

OSZCZEPALSKI, S. (1980): Paleogeography, sedimentation and mineralization of the Z1 carbonate series (Zechstein) in the western part of the Fore-Sudetic Monocline (Western Poland). - Contr.Sedimentology, 9, 307-323, Stuttgart.

ÖLSNER, O. (1959): Bemerkungen zur Herkunft der Metalle im Kupferschiefer. - Freiberg.Forschungsh., C 58, 106-113, Leipzig.

PAUL, J. (1982): Zur Sedimentologie des Kupferschiefers. - Abstrakt zur Zechstein-Tagung '82 in England, 11 Abb., 1 Taf.

PERYT, T.M., WAZNY, H. (1980): Mikrofacies and geochemical development of the basin facies of the Zechstein Limestone (Ca1) in western Poland. - Contr. Sedimentology, 9, 279-306, Stuttgart.

PLEIN, E. (1978): Rotliegend-Ablagerungen im Norddeutschen Becken. - Z.Dt.Geol.Ges., 129, 71-97, 10 Abb., 6 Taf., Hannover.

PRYOR, W.A. (1971): Petrology of the Weissliegendes Sandstones in the Werra-Fulda areas, Germany. - Geol.Rundschau, 60, 524-552, Stuttgart.

REINECK, H.-E., SINGH, I.B. (1980): Depositional sedimentary Environments (with References to terrigenous Clastics). - Springer-Verlag, 549 S., 683 Fig., Berlin, Heidelberg, New York.

REINECK, H.-E., WUNDERLICH, F. (1968): Classification and origin of flaser and lenticular bedding. - Sedimentology, 11, 99-104.

RENFRO, A.R. (1974): Genesis of evaporite-associated stratiform metalliferous deposits - a sabkha process. - Econ. Geol., 69, 33-45.

RENTZSCH, J. (1964): Der Kenntnisstand über die Metall- und Erzmineralverteilung im Kupferschiefer. - Z.angew.Geol., 10, H. 6, Berlin.

RENTZSCH, J. (1965): Fazielle Gesetzmäßigkeiten beim Auftreten der Roten Fäule. - Freiberg.Forschungsh., C 193, Leipzig.

RENTZSCH, J. (1974): The Kupferschiefer in comparison with the deposits of the Zambia copper belt; Centenaire de la Société géologique de Belgique, gisement stratiformes et provinces cuprifères. - 395-418, Liège.

RENTZSCH, J., KNITZSCHKE, G. (1968): Die Erzmineralparagenesen des Kupferschiefers und ihre regionale Verbreitung. - Freiberg.Forschungsh., C 231, 189-211, Leipzig.

RENTZSCH, J., LANGER, M. (1963): Fazielle Probleme des Kupferschiefers von Spremberg-Weißwasser. - Z.angew.Geol., 9, H. 10, Berlin.

RENTZSCH, J., SCHIRMER, B., RÖLLIG, G., TISCHENDORF, G. (1976): On the metal source of non-ferrous mineralization in the Zechstein basement (Kupferschiefer type). - Geol.Inst., The current metallogenic problems of Central Europe, 171-188, Warszawa.

RENTZSCH, J., THIERGÄRTNER, H. (1972): Vergleichende geologisch-mathematische Untersuchungen der Buntmetallverteilung in Lagerstätten vom Typ Kupferschiefer. - Z.angew.Geol., 18, H. 12, 537-548, Berlin.

RICHTER, G. (1941a): Paläogeographische und tektonische Stellung des Richelsdorfer Gebirges im hessischen Raume. - Jb.d. Reichsstelle f. Bodenforschung 1940, 61, 283-332, Berlin.

RICHTER, G. (1941b): Geologische Gesetzmäßigkeiten in der Metallführung des Kupferschiefers. - Arch.f.Lagerstättenforsch., H. 73, 61 S., 27 Abb., Berlin.

RICHTER-BERNBURG, G. (1955): Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins. - Z.D.Geol.Ges., 105, (für 1953), 843-854, Hannover.

ROBERTSON RESEARCH (1984): Methods of Analysis used for St Joe Explorations GmbH Exploration programme. - Unveröffentl., 18 S.

ROSE, A.W. (1976): The effect of cuprous chloride complexes in the origin of red-bed and related deposits. - Econ. Geol. - 71, 1036-1048.

ROTH, H. (1965): Ausbildung und Lagerungsformen des Kaliflözes Hessen im Fuldagebiet. - Z.Dt.Geol.Ges., 105, 674-684, Hannover.

RÖSLER, H.J., LANGE, H. (1976): Geochemische Tabellen. - 674 S., 314 Abb., 1 Beil., Enke-Verlag, Stuttgart.

RYDZEWSKI, A. (1965): Die Petrographie und die Vererzungen der Zechsteinsedimente in der vorsudetischen Monokline und der Periklinale von Zary (VR Polen). - Freiberg.Forschungsh., C 193, 157-168, Leipzig.

RYDZEWSKI, A. (1981): Facies and polimetallic mineralization in the Lowest Permian of Polish Lowland. - Intern.Symp. Central European Permian, 650-653, Warszawa.

SALAMON, W. (1976): Precious metals in black shales of the Fore-Sudetic Monocline, (in Polish). - Rudy i metale niezel, 12, 472-477.

SCHÄFER, K. (1969): Das Rotliegende der Treischfelder Bohrungen in Osthessen. - Notizbl.Hess.L.-Amt f. Bodenforsch., 97, 152-194, 10 Abb., 3 Tab., Wiesbaden.

SCHMIDT, F.P. (in Vorber.): Mineralogisch-geochemische Untersuchungen von Kupferschiefervererzungen im Einflußbereich "Rote Fäule" in Osthessen unter besonderer Berücksichtigung der Genese. - Dissertation RWTH Aachen, in Vorbereitung.

SCHÜLLER, A. (1959): Metallisation und Genese des Kupferschiefers von Mansfeld. - Abh. DAW, Kl.Chem.Geol.Biol., 6.

SCHRÖDER, B. (1976): Saxonische Tektonik im Ostteil der Süddeutschen Scholle. - Geol.Rundschau, 65 (1), 8 Abb., 1 Tab., Enke-Verlag, Stuttgart.

SCHUMACHER, C., KAIDIES, E., SCHMIDT, F.P. (1984): Ergebnisse über den basalen Zechstein der Spessart-Rhön-Schwelle. - Z.Dt.Geol.Ges., Bd. 135/2, Hannover.

SCHNEIDERHÖHN, A. (1949): Das Vorkommen von Titan, Vanadium, Chrom, Molybdän, Nickel und einigen Spurenmetallen in deutschen Sedimentgesteinen. - N.Jb., A 50.

SERKIES, J., OBERC, J., IDZIKOWSKI, A. (1967): The geochemical bearings of the genesis of Zechstein copper deposits in Southwest Poland as emplified by the studies on the Zechstein of the Leszczyna Syncline. - Chem.Geol., 2, 21-232.

SOKOLOWSKI, J. (1967): Geology and structure of the Sudetic Foreland. - Geol.Sudetica, 3, 297-367, Warszawa.

STEINBRECHER, B. (1959): Saalische Bewegungen im Ost- und Nordostharzvorland und ihre Bedeutung für den oberrotliegenden Sedimentationszyklus. - Z.angew.Geol., 5, 56-62, Berlin.

STIER, G. (1974): Das Perm des westlichen Richelsdorfer Gebirges und geologische Kartierung im Nordwestteil der TK 25 5025 Hönebach. - Dipl.Arb. (unveröff.), 255 S., Frankfurt.

STILLE, H. (1910): Die mitteldeutsche Rahmenfaltung. - 3.Jber. niedersächs.geol.Ver., 141-170, 3 Abb., 5 Taf., Hannover.

TEUSCHER, E.O., WEINELT, W. (1972): Die Metallogenese im Raum Spessart-Fichtelgebirge-Oberpfälzer Wald-Bayrischer Wald. - Geol.Bav., 65, 5-73, München.

TISCHENDORF, G., UNGETHÜM, H. (1964): Über die Bedeutung des Reduktions-Oxidationspotentials (Eh) und der Wasserstoffionenkonzentration (pH) für Geochemie und Lagerstättenkunde. - Geologie, 13, 125-158, Berlin.

TISCHENDORF, G., UNGETHÜM, H. (1965): Zur Anwendung von Eh-pH-Beziehungen in der geologischen Praxis. - Z.angew.Geol., 11, H. 2, Berlin.

TRUSHEIM, F. (1964): Über den Untergrund Frankens. - Geol.Bav., 54, München.

VINE, J.D., TOURTELOT, E.B. (9170): Geochemistry of black shale deposits. - Econ.Geol., 65, 253-272.

VISSCHER, H. (1971): The Permian and Triassic of the Kingscourt outlier, Ireland. - Geol.Surv. Ireland Spec.Pap., 1, 114 S., Dublin.

WAZNY, H. (1965): Trace elements in the Zechstein of western Poland. - Z.badan petrograficznch., 3, 7-83, 40 fig.

WAZNY, H. (1981): Geochemical correlations in the Zechstein Limestone in the Wrzesnia area. - Kwartalnik Geologiczny, 25 (3), 495-512.

WEDEPOHL, K.H. (1964): Untersuchungen am Kupferschiefer in Nordwestdeutschland; ein Beitrag zur Deutung der Genese bituminöser Sedimente. - Geochem.Cosmochem.Acta, 28, 305-364, London.

WEDEPOHL, K.H. (1971): Kupferschiefer as a prototype of syngenetic sedimentary ore deposits. - Soc.Mining Geol. Japan, Spec. Issue 3, 268-273.

WEDEPOHL, K.H., DELAVAUX, M.H., DOE, B.R. (1978): The potential source of lead in the Permian Kupferschiefer bed of Europe and some selected Paleozoic mineral deposits in the Federal Republic of Germany. - Contrib.Mineral.Petrol., 65, 273-281.

T A F E L N I - VI

TAFEL I

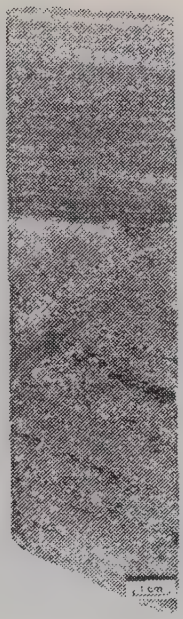


Bild 1
Rotliegendes RO 20/ 393,5 m

Fluviatile Fazies des Rotliegenden, mit einer Schichtdiskordanz zwischen megakreuzgeschichteten Sandsteinen.

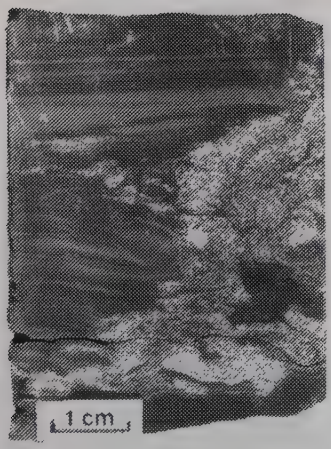


Bild 2
Rotliegendes RN 4/ 597,5 m

Sabkha-Fazies des Rotliegenden. Eben geschichtete Ton- und Siltsteinlagen werden von einem Sandsteingang durchstoßen. In dem sedimentären Gang tritt neben Karbonat auch Anhydrit als Zement auf.

TAFEL II

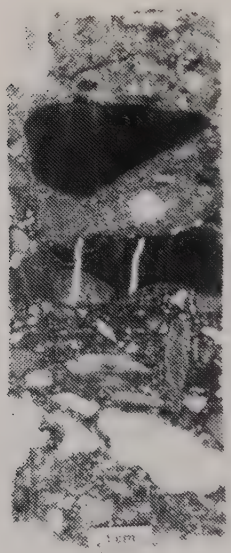


Bild 1
Weißliegendes RO 18/ 217.8 m

Basis des Weißliegenden in Form des Porphyrkonglomerates. Hauptkomponenten des Gesteins sind Grundgebirgsrelikte und Quarzporphyrgerölle. Die Matrix ist ein grauer Sandstein. In der Mitte des Bildes sind zwei Gerölle aus einem präpermischen Karbonatgestein (Korallen) zu erkennen.
Zone C des Weißliegenden.

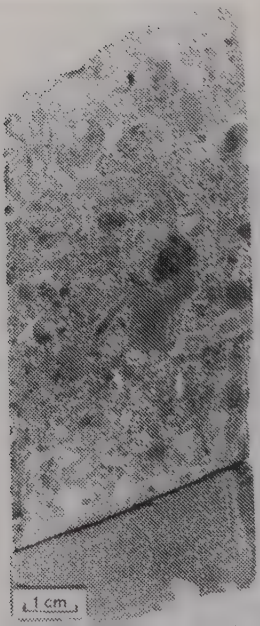


Bild 2
Weißliegendes RO 18/ 218,3 m

Kontakt zwischen dem basalen Porphyrkonglomerat des Weißliegenden zum Rotliegenden.
Zone C des Weißliegenden.

TAFEL III

Bild 1
Weißliegendes SR 6/ 474 m

In einem grüngefärbten Sandstein liegen insitu-gebildete Karbonatkonkretionen, die sich zu einer mehrere dm mächtigen Lage zusammenschließen. Die Probe entstammt der oberen Partie der Karbonatlage.
Zone B des Weißliegenden.

Bild 2
Weißliegendes RN 14/ 451,8 m

Ausschnitt aus einer Serie megakreuzgeschichteter Sandsteine, die eine feine Lamination aufweisen, deren Neigung in diesem Fall zum Top hin zunimmt.
Zone A des Weißliegenden.

TAFEL IV

Bild 1
Weißliegendes SR 6/472,2 m

In einem Sandstein des Weißliegenden bilden Karbonatgerölle die größten Komponenten. Die Karbonate sind aufgearbeitete Relikte der in der Zone B des Weißliegenden insitu entstandenen Karbonatkonkretionen.
Zone A des Weißliegenden

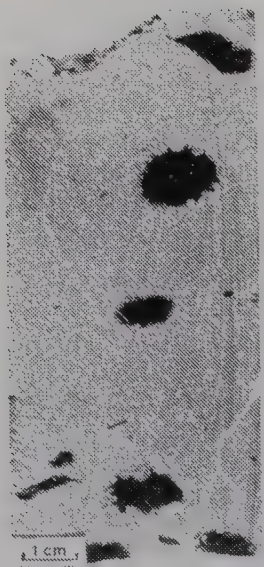


Bild 2
Weißliegendes RO 21/203 m

Neben den megakreuzgeschichteten Sandsteinen bilden die strukturlosen Sandsteine den wichtigsten Sedimenttyp des Weißliegenden. In dem schlecht sortierten Sandstein treten "armoured mud-ball"-Gerölle auf; Tonpartikel, die rollend transportiert werden. Dabei werden Sandkörner in die Oberfläche des Tongerölles eingedrückt.
Zone A des Weißliegenden

TAFEL V

Bild 1
Weißliegendes, Kupferschiefer
SR 6/ 468,5 m

An der Basis des Kupferschiefers zum Weißliegenden ist ím Kupferschiefer eine Partie mit Slumpingstrukturen ausgebildet. Die Lamination im Kupferschiefer geht auf Sandkörner und Karbonatkomponenten zurück.

Bild 2
Kupferschiefer RO 18/ 210 m

Im mittleren Bereich des Kupferschieferprofils wird die Lamination im bituminösen Schwarzschiefer hauptsächlich durch Karbonatlagen, aber auch durch Sandlagen hervorgerufen. Der Anteil der Sandsteinlagen nimmt zur Basis hin zu.
Maßstab: 2cm

TAFEL VI

Bild 1
Kupferschiefer RO 18/ 210,7 m
Anschliff N II

Eine quarzreiche Lage an der Basis des Kupferschiefers wird in den Zwickeln zwischen den Komponenten mit Kupfersulfiden vererzt.
Maßstab: 2cm entsprechen 0,5mm

Bild 2
Kupferschiefer RO 18/ 210,5 m
Anschliff

Die Kupferreichsulfide Bornit (hellgrau) und Chalkosin (weiß) treten innerhalb der karbonatisch-bituminösen Grundmasse des Kupferschiefers auf. Beide Kupfersulfide sind eng verwachsen und schlecht zu unterscheiden.
Maßstab: 1,5cm entsprechen 0,1mm

Analysedaten (Urliste)

Stratigraphische Abkürzungen:

Ca1	Zechsteinkalk
T1	Kupferschiefer
S1	Weißliegendes
Ro	Rotliegendes
GG	Grundgebirge
VV	Vulkanit

RN 1		LOWER	LIMITING	VALUES	.001	.001	.001	2.	5.	5.	2.	0.	10.
					Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mo	Cr	V
CA1	1	575.00	576.00	1.00	.001	.005	.018	-2.	70.	130.	35.	75.	-10.
CA1	2	576.00	577.00	1.00	.001	.011	.013	-2.	60.	150.	60.	140.	130.
CA1	3	577.00	577.70	.70	.005	.014	.023	3.	50.	25.	25.	160.	150.
T1	4	577.70	577.90	.20	.027	.100	.100	3.	70.	50.	20.	180.	220.

RN 2		LOWER	LIMITING	VALUES	.001	.001	.001	2.	5.	5.	2.	0.	10.
					Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mo	Cr	V
CA1	4	448.95	449.38	.43	.008	.003	.007	-2.	50.	15.	3.	130.	75.
CA1	5	449.38	449.87	.49	.007	.004	.007	-2.	40.	15.	4.	100.	75.
CA1	6	449.87	450.39	.52	.010	.015	.017	-2.	45.	15.	4.	100.	50.
CA1	7	450.39	450.92	.53	.009	.006	.011	-2.	45.	10.	9.	120.	65.
CA1	8	450.92	451.40	.48	.010	.005	.008	2.	65.	15.	2.	130.	100.
CA1	9	451.40	451.76	.36	.012	.019	.009	2.	55.	20.	4.	150.	110.
CA1	10	451.76	452.24	.48	.015	.006	.008	3.	60.	20.	4.	100.	65.
CA1	11	452.24	452.70	.48	.008	.280	.010	5.	65.	15.	35.	150.	150.
T1	12	452.70	453.14	.44	.005	.880	.019	6.	60.	20.	40.	170.	220.
T1	13	453.14	453.66	.52	.004	.230	.080	4.	60.	20.	7.	100.	65.
T1	14	453.66	454.10	.44	.007	.520	.160	4.	85.	20.	140.	180.	350.
T1	15	454.10	454.57	.47	.008	.520	.480	6.	110.	15.	250.	120.	450.
T1	16	454.57	454.85	.28	.007	1.100	.040	7.	110.	15.	70.	120.	180.
S1	17	454.85	455.13	.28	.008	.200	.006	3.	20.	5.	17.	230.	50.
S1	18	455.13	455.40	.27	.018	.005	.010	-2.	20.	10.	7.	180.	25.
S1	19	455.40	455.84	.44	.023	.020	.018	-2.	20.	10.	5.	160.	20.
S1	20	455.84	456.40	.56	.019	.004	.012	-2.	20.	10.	4.	200.	25.
S1	21	456.40	457.17	.77	.022	.010	.012	3.	30.	15.	5.	150.	35.
S1	22	457.75	458.18	.43	.010	.006	.008	-2.	20.	10.	2.	75.	60.
S1	23	460.06	460.44	.38	.010	.010	.006	-2.	25.	20.	2.	100.	55.

RN 3	LOWER	LIMITING	VALUES		.001	.001	.001	2.	5.	5.	2.	0.	10.
					Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mo	Cr	V
CA1	1	281.29	281.38	.09	.002	.002	.010	-2.	35.	10.	-2.	30.	50.
CA1	2	281.38	281.61	.23	.002	.002	.009	-2.	35.	10.	-2.	50.	65.
CA1	3	281.61	281.85	.24	.002	.003	.004	-2.	35.	10.	-2.	55.	70.
CA1	4	281.85	282.25	.40	.002	.004	.003	-2.	40.	15.	2.	200.	110.
CA1	5	282.25	282.62	.37	.003	.004	.004	-2.	40.	15.	-2.	60.	80.
CA1	6	282.62	282.83	.21	.003	.003	.004	-2.	40.	10.	-2.	40.	75.
CA1	7	282.83	283.06	.23	.003	.003	.004	-2.	40.	10.	2.	50.	65.
CA1	8	283.06	283.37	.31	.005	.004	.003	-2.	45.	15.	2.	60.	60.
CA1	9	283.37	283.57	.20	.004	.005	.006	-2.	45.	20.	3.	40.	80.
CA1	10	283.57	283.77	.20	.009	.006	.010	2.	55.	25.	4.	55.	80.
CA1	11	283.77	283.91	.14	.009	.005	.039	3.	65.	25.	4.	20.	-10.
T1	12	283.91	284.00	.09	.009	.017	.046	-2.	110.	30.	45.	70.	140.
T1	13	284.00	284.09	.09	.012	.019	.046	-2.	110.	30.	45.	60.	190.
T1	14	284.09	284.19	.10	.013	.035	.025	3.	150.	45.	140.	130.	580.
S1	15	284.19	284.30	.11	.017	.017	.015	3.	45.	30.	95.	45.	85.
S1	16	284.30	284.43	.13	.006	.004	.004	-2.	20.	20.	6.	55.	25.
S1	17	284.43	284.52	.08	.005	.002	.002	-2.	15.	5.	-2.	35.	10.
S1	18	284.52	284.64	.13	.008	.007	.001	-2.	15.	5.	2.	40.	10.
S1	19	284.64	284.78	.14	.015	.003	.001	-2.	15.	-5.	3.	35.	10.
S1	20	284.78	284.91	.13	.002	.001	.001	-2.	15.	5.	-2.	30.	10.
S1	21	284.91	285.09	.18	.002	.001	.002	-2.	15.	10.	-2.	40.	30.

RN 4	LOWER	LIMITING	VALUES		.001	.001	.001	2.	5.	5.	2.	0.	10.	5.	5.
					Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mo	Cr	V	Sn	U
CA1	1	581.50	582.50	1.00	.003	.008	.025	-2.	35.	15.	2.	65.	80.	-5.	-5
CA1	2	582.50	583.50	1.00	.006	.016	.022	-2.	45.	15.	5.	65.	80.	7.	-5
T1	3	583.50	584.50	1.00	.004	.120	.650	2.	55.	10.	55.	90.	200.	5.	-5
T1	4	584.50	585.50	1.00	.012	.270	1.500	5.	60.	20.	150.	90.	300.	10.	10
T1	5	585.50	586.20	.70	.200	.450	2.900	50.	110.	85.	260.	110.	550.	7.	20
S1	6	586.20	587.50	1.30	.030	.001	.020	-2.	15.	20.	3.	120.	40.	80.	-5

RN 5	LOWER	LIMITING	VALUES		.001	.001	.001	2.	5.	5.	2.	0.	10.	5.	5.
					Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mo	Cr	V	Sn	U
CA1	1	414.60	415.60	1.00	.002	.006	.018	-2.	40.	10.	2.	75.	70.	7.	5.
T1	2	415.60	416.60	1.00	.003	.014	.040	-2.	45.	15.	4.	45.	100.	7.	15.
T1	3	416.60	417.60	1.00	.003	.035	.190	-2.	45.	10.	5.	25.	80.	7.	15.
T1	4	417.60	418.60	1.00	.006	.090	.370	-2.	60.	10.	90.	50.	130.	7.	20.
T1	5	418.60	419.10	.50	1.000	.060	.130	25.	120.	220.	350.	80.	240.	7.	35.
S1	6	419.10	419.60	.50	.300	.002	.030	9.	10.	60.	95.	70.	40.	7.	5.
S1	7	419.60	420.60	1.00	.120	.002	.011	4.	10.	20.	20.	100.	25.	5.	-5.
S1	8	420.60	421.60	1.00	.150	.006	.022	5.	20.	20.	7.	100.	45.	7.	-5.
S1	9	421.60	422.60	1.00	.150	.002	.014	4.	10.	10.	7.	40.	30.	5.	-5.
S1	10	422.60	423.60	1.00	.120	.002	.013	3.	20.	25.	25.	85.	30.	5.	-5.
S1	11	423.60	424.60	1.00	.130	.003	.015	4.	30.	30.	55.	60.	50.	5.	-5.
S1	12	424.60	425.60	1.00	.130	.004	.015	4.	10.	10.	4.	90.	50.	5.	5.
S1	13	425.60	426.60	1.00	.003	.002	.002	-2.	10.	-5.	2.	65.	15.	-5.	-5.

RN 6 LOWER LIMITING VALUES .001 .001 .001 2. 5. 5. 2. 0. 10. 5. 5.

					Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mo	Cr	V	Sn	U
CA1	1	530.20	530.72	.52	.007	.090	.190	2.	60.	25.	35.	120.	160.	5.	10.
T1	2	530.72	531.20	.48	.005	.360	.310	2.	55.	20.	30.	100.	150.	-5.	-5.
T1	3	531.20	531.66	.46	.004	.180	.210	2.	55.	20.	30.	120.	180.	-5.	5.
T1	4	531.66	532.20	.54	.016	.092	.085	2.	55.	20.	25.	130.	180.	-5.	5.
T1	5	532.20	532.67	.47	.023	.062	.009	-2.	45.	20.	17.	120.	180.	-5.	5.
T1	6	532.67	533.09	.42	.130	.020	.025	6.	45.	30.	15.	50.	130.	-5.	5.
T1	7	533.09	533.51	.42	.270	.007	.041	15.	55.	80.	55.	130.	200.	5.	10.
T1	8	533.51	533.64	.13	1.000	.009	.160	30.	190.	180.	340.	110.	440.	5.	10.
S1	9	533.64	533.78	.14	2.200	.10	.340	50.	35.	70.	170.	80.	75.	-5.	10.
S1	10	533.78	534.27	.49	.110	.004	.018	3.	15.	20.	17.	120.	10.	-5	-5.
S1	11	534.27	534.77	.50	.009	.001	.002	-2.	-5.	-5.	8.	130.	15.	-5.	-5.
S1	12	534.77	535.20	.43	.003	.001	.002	-2.	-5.	-5.	7.	100.	12.	-5.	-5.
S1	13	535.20	535.96	.76	.025	.002	.005	-2.	20.	50.	50.	140.	85.	-5.	-5.
S1	14	535.96	536.42	.46	.011	.001	.004	-2.	5.	10.	7.	160.	15.	-5.	-5.
S1	15	536.42	537.21	.79	.100	.003	.015	2.	-5.	40.	20.	180.	20.	-5.	5.
S1	16	537.21	537.70	.49	.002	.001	.002	-2.	10.	5.	6.	140.	15.	-5.	-5.

RN 7 LOWER LIMITING VALUES .001 .001 .001 2. 5. 5. 2. 0. 10. 5. 5.

					Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mo	Cr	V	Sn	U
CA1	1	391.80	392.30	.50	.004	.006	.017	-2.	55.	20.	4.	140.	140.	7.	5.
CA1	2	392.30	392.80	.50	.002	.008	.006	-2.	40.	20.	6.	120.	90.	-5.	-5.
CA1	3	392.80	393.30	.50	.002	.006	.012	-2.	45.	25.	5.	90.	70.	-5.	-5.
CA1	4	393.30	393.80	.50	.002	.007	.012	-2.	40.	20.	6.	80.	50.	-5.	5.
T1	5	393.80	394.30	.50	.004	.008	.130	-2.	60.	25.	8.	90.	90.	-5.	10.
T1	6	394.30	394.80	.50	.006	.027	.080	-2.	65.	30.	70.	60.	150.	-5.	5.
T1	7	394.80	395.30	.50	.006	.150	.730	2.	100.	25.	95.	100.	230.	-5.	25.
T1	8	395.30	395.80	.50	.007	.310	.420	2.	100.	25.	140.	120.	370.	-5.	20.
T1	9	395.80	396.30	.50	.012	.230	1.300	4.	100.	25.	140.	130.	370.	-5.	20.
S1	10	396.30	397.44	.51	.013	.240	1.300	4.	100.	25.	180.	90.	300.	-5.	10.
S1	11	397.44	397.96	.52	.620	.210	.260	20.	120.	220.	180.	100.	300.	-5.	10.
S1	12	397.96	398.20	.24	2.700	.021	.310	70.	150.	440.	390.	130.	490.	-5.	15.
S1	13	398.20	398.60	.40	.560	.003	.070	12.	15.	80.	17.	60.	30.	-5.	5.
S1	14	398.60	399.44	.84	.240	.004	.036	7.	15.	35.	20.	80.	25.	-5.	-5.
S1	15	399.44	399.85	.41	.250	.006	.035	8.	20.	60.	50.	120.	35.	-5.	10.
S1	16	399.85	400.19	.34	.170	.013	.028	5.	10.	40.	17.	200.	20.	5.	-5.
S1	17	400.19	400.69	.50	.120	.005	.018	3.	10.	30.	8.	160.	25.	5.	5.
S1	18	400.69	401.19	.50	.037	.004	.007	-2.	5.	30.	8.	160.	25.	-5.	10.
S1	19	401.19	401.67	.48	.013	.001	.005	2.							
S1	20	401.67	402.17	.50	.006	.001	.002	2.							
S1	21	402.17	402.67	.50	.002	-.000	-.000	-2.							
S1	22	402.67	403.17	.50			-.000								
S1	23	403.17	403.77	.60			-.000								
S1	24	403.77	404.27	.50			-.000								
S1	25	404.27	404.77	.50			-.001								
S1	26	404.77	405.27	.50			-.002								

RN 8 LOWER LIMITING VALUES .001 .001 .001 2.

					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	372.42	372.87	.45	.001	.002	.005	-2.
CA1	2	372.87	373.32	.45	.002	.001	.003	-2.
T1	3	373.32	373.67	.35	.011	.001	.009	-2.
T1	4	373.67	374.03	.36	.020	.002	.003	-2.
T1	5	374.03	375.06	1.03	.014	.004	.003	2.
T1	6	375.06	375.34	.28	.022	.003	.003	4.
T1	7	375.34	375.87	.53	.130	.002	.010	10.
T1	8	375.87	376.31	.44	.480	.095	.050	20.
T1	9	376.31	376.63	.32	.490	.004	.070	10.
T1	10	376.71	377.11	.40	.500	.003	.075	10.
T1	11	377.11	377.57	.46	.850	.004	.110	60.
S1	12	377.57	378.55	.96	.100	.001	.014	4.
S1	13	378.55	379.59	1.04	.008	-.000	.002	-2.
S1	14	379.59	380.74	1.15	.006	-.000	.002	-2.
S1	15	380.74	381.60	.86	.011	-.000	.001	-2.
RO	16	381.60	382.60	1.00	-.000	-.000	-.000	-2.
RO	17	382.60	383.58	.98	-.000	-.000	-.000	-2.
RO	18	383.58	384.50	1.00	-.000	-.000	-.000	-2.

RN 9 LOWER LIMITING VALUES .001 .001 .001 2.

					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	476.60	477.10	.50	.012	.001	.007	-2.
CA1	2	477.10	477.60	.50	.028	.003	.007	-2.
CA1	3	477.60	478.10	.50	.006	.001	.010	-2.
CA1	4	478.10	478.60	.50	.003	.001	.008	-2.
CA1	5	478.60	479.10	.50	.027	.030	.005	2.
CA1	6	479.10	479.60	.50	.050	.080	.010	4.
CA1	7	479.60	480.10	.50	.006	.003	.002	-2.
CA1	8	480.10	480.60	.50	.009	.003	.002	-2.
CA1	9	480.60	481.10	.50	.006	.003	.002	-2.
CA1	10	481.10	481.60	.50	.004	.002	.002	-2.
CA1	11	481.60	482.10	.50	.002	.001	.002	-2.
CA1	12	482.10	482.60	.50	.004	.001	.002	-2.
CA1	13	482.60	483.00	.40	.022	.002	.004	-2.
CA1	14	483.00	483.60	.60	.002	.001	.002	-2.
CA1	15	483.60	484.32	.72	.001	.001	.002	-2.
CA1	16	484.32	484.60	.28	.004	.001	.002	-2.
S1	17	484.60	485.00	.40	.003	.003	.002	-2.
RO	18	485.00	485.40	.40	.002	.001	.002	-2.
RO	19	485.40	485.90	.50	.001	-.000	.002	-2.
RO	20	485.90	486.40	.50	-.000	-.000	.001	-2.
RO	21	486.40	486.90	.50	-.000	-.000	.001	-2.
RO	22	486.90	487.40	.50	-.000	-.000	-.000	-2.
RO	23	487.40	487.90	.50	.001	-.000	.001	-2.
RO	24	487.90	488.40	.50	.001	-.000	.001	-2.

RN 10 LOWER LIMITING VALUES .001 .001 .001 2.

					Cu	Pb	Zn	Ag.
CA1	1	492.20	492.70	.50	.004	.075	.034	-2.
CA1	2	492.70	493.00	.30	.004	.070	.035	-2.
CA1	3	493.00	493.45	.45	.003	.060	.038	-2.
CA1	4	493.45	493.95	.50	.005	.230	.250	3.
CA1	5	493.95	494.35	.40	.007	.210	.500	2.
VV	6	494.35	494.95	.60	.007	.006	.038	-2.
VV	7	494.95	495.28	.33	.007	.002	.017	-2.
T1	8	495.28	495.73	.45	.006	.350	2.400	6.
VV	9	495.73	496.11	.38	.007	.011	.045	-2.
T1	10	496.11	496.23	.12	.006	.180	1.000	3.
S1	11	496.23	496.40	.17	.016	.032	.420	-2.
S1	12	496.40	496.73	.33	.010	.005	.009	-2.
S1	13	496.73	497.23	.50	.040	.002	.002	-2.
GG	14	497.23	497.73	.50	.070	.002	.005	2.

RN 11 LOWER LIMITING VALUES .001 .001 .001 2.

					Cu	Pb	Zn	Ag.
CA1	1	389.68	390.18	.50	.003	.018	.020	-2.
CA1	2	390.18	390.68	.50	.002	.014	.032	-2.
CA1	3	390.68	390.98	.30	.002	.015	.011	-2.
CA1	4	390.98	391.35	.37	.004	.011	.005	-2.
CA1	5	391.35	391.62	.27	.002	.017	.005	-2.
CA1	6	391.62	392.02	.40	.002	.032	.008	-2.
CA1	7	392.04	392.22	.18	.011	.040	.013	3.
CA1	8	392.22	392.44	.22	.052	.023	.020	3.
T1	9	392.44	392.62	.18	.006	.110	.230	3.
T1	10	392.62	392.82	.20	.004	.160	.900	3.
T1	11	392.82	393.02	.20	.007	.270	1.400	4.
T1	12	393.02	393.22	.20	.011	.170	1.400	6.
S1	13	393.22	393.42	.20	.370	.550	1.100	15.
S1	14	393.42	393.58	.16	.095	.160	.009	5.
S1	15	393.58	393.77	.19	.033	.036	.016	2.
S1	16	393.77	394.02	.25	.010	.008	.007	-2.
S1	17	394.02	394.32	.30	.023	.004	.005	4.
S1	18	394.32	394.56	.26	.045	.003	.007	8.

RN 12		LOWER LIMITING VALUES			.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	598.87	599.22	.35	.002	.011	.015	-2.
CA1	2	599.22	599.54	.32	.008	.009	.005	-2.
CA1	3	599.54	599.87	.33	.010	.016	.024	-2.
CA1	4	599.87	600.20	.33	.021	.023	.005	-2.
CA1	5	600.20	600.53	.33	.017	.012	.007	-2.
CA1	6	600.53	600.86	.35	.002	.013	.010	-2.
CA1	7	600.88	601.19	.31	.004	.006	.005	-2.
CA1	8	601.19	601.50	.31	.006	.017	.006	-2.
CA1	9	601.50	601.85	.35	.004	.041	.006	2.
T1	10	601.85	602.14	.29	.005	.065	.017	4.
T1	11	602.14	602.39	.25	.007	.150	.006	5.
T1	12	602.39	602.59	.20	.005	.310	.180	5.
T1	13	602.59	602.85	.26	.003	.780	.350	6.
T1	14	602.85	603.03	.18	.005	1.100	.350	7.
T1	15	603.03	603.30	.27	.022	2.600	.190	12.
T1	16	603.30	603.50	.20	.370	1.300	.061	27.
T1	17	603.50	603.73	.23	1.900	.042	.170	60.
S1	18	603.73	603.92	.19	1.700	.021	.180	32.
S1	19	603.92	604.07	.15	.050	.012	.007	2.
S1	20	604.07	604.37	.30	.015	.023	.005	-2.
S1	21	604.37	604.62	.25	.019	.004	.004	-2.
S1	22	604.62	604.92	.30	.015	.002	.004	-2.
S1	23	604.92	605.22	.30	.013	.003	.003	-2.
S1	24	605.22	605.55	.33	.015	.002	.004	-2.
S1	25	605.55	605.93	.38	.011	.004	.005	-2.
S1	26	605.93	606.22	.29	.011	.003	.004	-2.
S1	27	606.22	606.56	.34	.008	.004	.005	-2.
S1	28	606.56	606.89	.33	.004	.008	.009	-2.
S1	29	606.89	607.34	.45	.006	.002	.004	-2.
S1	30	607.34	607.85	.51	.004	-.000	.002	-2.

RN 13		LOWER LIMITING VALUES			.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	411.37	411.69	.32	.009	.065	.007	-2.
CA1	2	411.69	411.97	.28	.005	.068	.005	-2.
CA1	3	411.97	412.27	.30	.006	.021	.003	-2.
CA1	4	412.27	412.82	.55	.006	.029	.003	-2.
CA1	5	412.82	413.32	.50	.005	.005	.002	-2.
T1	6	413.32	413.69	.37	.010	.140	.041	4.
T1	7	413.69	414.00	.31	.220	.220	.100	25.
S1	8	414.00	414.22	.22	.450	.019	.056	46.
S1	9	414.22	414.69	.47	.067	.003	.009	5.
S1	10	414.69	415.17	.48	.140	.014	.018	9.
S1	11	415.28	415.60	.32	.110	.016	.014	6.
S1	12	415.60	415.89	.29	.010	0.000	.003	-2.
S1	13	415.89	416.15	.26	.004	-.000	.002	-2.
S1	14	416.15	416.44	.29	.002	-.000	.002	-2.
S1	15	416.44	416.76	.32	.002	-.000	.002	-2.
S1	16	416.76	417.08	.32	.004	-.000	.003	-2.

RN 14		LOWER	LIMITING	VALUES	.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	422.76	423.11	.35	.006	.008	.004	-2.
CA1	2	423.11	423.37	.26	.010	.006	.004	-2.
CA1	3	423.37	423.76	.39	.004	.026	.004	2.
CA1	4	423.76	424.04	.26	.009	.120	.006	5.
T1	5	424.04	424.29	.25	.024	.250	.004	5.
T1	6	424.29	424.59	.30	.120	.110	.006	10.
T1	7	424.59	424.78	.19	1.200	.050	.100	120.
S1	8	424.78	424.98	.20	.440	.065	.060	35.
S1	9	424.98	425.39	.41	.015	.014	.011	3.
S1	10	425.39	425.76	.37	.004	.003	.002	2.
S1	11	425.76	426.15	.39	.002	.001	.002	2.
S1	12	426.15	426.41	.26	.001	.001	.002	-2.
S1	13	426.41	426.76	.35	.001	-.000	.001	-2.
S1	14	426.76	427.24	.48	.001	-.000	.001	-2.
S1	15	427.24	427.76	.52	.001	-.000	.001	-2.

RN 15		LOWER	LIMITING	VALUES	.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	620.21	620.46	.25	.002	.035	.005	2.
CA1	2	620.46	620.71	.25	.003	.045	.004	3.
CA1	3	620.71	620.96	.25	.004	.090	.007	3.
CA1	4	620.96	621.30	.34	.012	.250	.014	5.
T1	5	621.30	621.50	.20	.008	1.400	.080	7.
T1	6	621.50	621.70	.20	.005	1.200	.075	6.
T1	7	621.70	621.80	.10	.930	1.000	.100	35.
S1	8	621.80	622.03	.23	1.100	.025	.100	35.
S1	9	622.03	622.22	.19	1.100	.005	.012	5.
S1	10	622.22	622.62	.40	.052	.003	.008	3.
S1	11	622.62	623.00	.38	.120	.002	.008	5.
S1	12	623.00	623.30	.30	.170	.002	.008	5.

RN 16		LOWER	LIMITING	VALUES	.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	600.04	600.24	.20	.016	.002	.003	-2.
T1	2	600.24	600.51	.27	.210	.004	.022	7.
S1	3	600.51	600.78	.27	.250	.003	.034	6.
S1	4	600.78	601.04	.26	.035	.001	.007	-2.
S1	5	601.04	601.26	.22	.027	.001	.004	-2.
S1	6	601.26	601.49	.23	.027	-.000	.005	2.
S1	7	601.49	601.77	.28	.027	-.000	.003	-2.
S1	8	601.77	602.06	.29	.011	-.000	.002	-2.

SR 1		LOWER LIMITINGS	VALUES		.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	378.05	378.50	.45	.003	.001	.005	-2.
CA1	2	378.50	379.00	.50	.012	.001	.005	-2.
CA1	3	379.00	379.50	.50	.001	.002	.005	-2.
CA1	4	379.50	380.00	.50	.002	.002	.006	-2.
CA1	5	380.00	380.50	.50	.002	.002	.005	-2.
CA1	6	380.50	381.00	.50	.002	.001	.004	-2.
CA1	7	381.00	381.50	.50	.009	.002	.006	-2.
CA1	8	381.50	382.00	.50	.003	.003	.005	-2.
CA1	9	382.00	382.50	.50	.009	.007	.033	-2.
CA1	10	382.50	382.81	.31	.011	.081	.091	-2.
T1	11	382.91	383.44	.53	.001	.035	.041	-2.
T1	12	383.44	384.00	.56	.002	.024	.042	-2.
T1	13	384.00	384.50	.50	.002	.027	.330	-2.
T1	14	384.50	385.00	.50	.004	.065	.210	-2.
T1	15	385.00	385.45	.45	.016	.180	.250	2.
T1	16	385.45	385.83	.38	.011	.160	.340	2.
T1	17	385.83	386.90	1.07	.530	.870	.770	20.
S1	18	386.90	387.00	.10	.075	.016	.017	-2.
S1	19	387.00	388.00	1.00	.011	.006	.008	-2.
S1	20	388.00	389.00	1.00	.003	.006	.005	-2.
RO	21	389.00	390.00	1.00	.005	.040	.035	-2.

SR 2		LOWER LIMITINGS	VALUES		.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	404.50	405.00	.50	.005	.025	.006	-2.
CA1	2	405.00	405.50	.50	.006	.042	.006	-2.
CA1	3	405.50	406.00	.50	.004	.036	.003	-2.
CA1	4	406.00	406.50	.50	.007	.044	.003	-2.
CA1	5	406.50	407.00	.50	.009	.046	.004	-2.
CA1	6	407.00	407.50	.50	.011	.027	.003	-2.
CA1	7	407.50	408.00	.50	.005	.007	.003	-2.
CA1	8	408.00	408.50	.50	.011	.005	.005	3.
CA1	9	408.50	409.00	.50	.012	.005	.005	5.
CA1	10	409.00	409.25	.25	.021	.005	.006	10.
CA1	11	409.25	409.50	.25	.050	.012	.010	25.
T1	12	409.52	409.63	.11	.280	.080	.032	100.
T1	13	409.63	409.78	.15	.540	.100	.040	180.
T1	14	409.78	410.00	.22	1.900	.034	.150	300.
S1	15	410.00	410.10	.10	2.000	.010	.120	250.
S1	16	410.10	410.50	.40	.110	.003	.012	8.
S1	17	410.50	411.00	.50	.039	.008	.004	5.
S1	18	411.00	411.50	.50	.056	.003	.010	4.
S1	19	411.50	412.00	.50	.058	.012	.013	4.
S1	20	412.00	412.50	.50	.070	.004	.001	3.
S1	21	412.50	413.00	.50	-.000	-.000	.001	-2.
S1	22	413.00	413.50	.50	.001	-.000	.001	-2.
S1	23	413.50	414.00	.50	-.000	-.000	.002	-2.
S1	24	414.00	414.50	.50	-.000	-.000	.002	-2.
S1	25	414.50	415.00	.50	.001	-.000	.002	-2.
S1	26	415.00	415.50	.50	.002	-.000	.002	-2.
S1	27	415.50	416.00	.50	.025	-.000	.002	-2.

SR 4		LOWER LIMITING VALUES			.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	606.00	606.50	.50	.005	.016	.005	-2.
CA1	2	606.50	607.00	.50	.002	.003	.004	-2.
CA1	3	607.00	607.50	.50	.015	.011	.006	-2.
CA1	4	607.50	608.00	.50	.020	.039	.009	-2.
T1	5	608.00	608.50	.50	.005	.250	.210	-2.
T1	6	608.50	609.00	.50	.070	.400	.095	3.
T1	7	609.00	609.50	.50	.031	.220	.038	3.
T1	8	609.50	610.00	.50	.014	.013	.026	-2.
T1	9	610.00	610.50	.50	.021	.024	.010	-2.
T1	10	610.50	611.00	.50	.100	.010	.021	5.
T1	11	611.00	611.50	.50	.210	.021	.036	10.
S1	12	611.50	612.00	.50	.270	.003	.038	8.
S1	13	612.00	612.50	.50	.038	.001	.006	-2.
S1	14	612.50	613.00	.50	.130	.002	.017	-2.
S1	15	613.00	613.50	.50	.070	.003	.010	-2.
S1	16	613.50	614.00	.50	.038	.002	.010	-2.
S1	17	614.00	614.50	.50	.013	.001	.004	-2.
S1	18	614.50	615.00	.50	.007	-.000	.003	-2.

SR 5		LOWER LIMITING VALUES			.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	523.00	523.25	.25	.009	.029	.007	2.
CA1	2	523.25	523.50	.25	.005	.120	.005	2.
CA1	3	523.50	523.75	.25	.006	.180	.004	4.
T1	4	523.75	524.00	.25	.006	.240	.004	3.
T1	5	524.00	524.25	.25	.007	.570	.130	6.
T1	6	524.25	524.50	.25	.032	.920	.300	7.
T1	7	524.50	524.75	.25	.260	.480	.100	10.
T1	8	524.75	525.00	.25	1.300	.040	.085	140.
S1	9	525.00	525.25	.25	.160	.010	.007	8.
S1	10	525.25	525.50	.25	.016	.004	.005	3.
S1	11	525.50	525.75	.25	.013	.003	.007	2.
S1	12	525.75	526.00	.25	.009	.002	.007	2.
S1	13	526.00	526.25	.25	.005	.002	.005	2.
S1	14	526.25	526.50	.25	.005	.002	.007	2.
S1	15	526.50	526.75	.25	.007	.002	.007	2.
S1	16	526.75	527.05	.30	.007	.002	.008	2.

SR 6		LOWER	LIMITING	VALUES	.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	458.00	458.26	.26	.005	.005	.190	-2.
CA1	2	458.26	458.50	.24	.002	.005	.017	-2.
CA1	3	458.50	458.74	.24	.002	.006	.010	-2.
CA1	4	458.74	459.00	.26	.002	.004	.007	-2.
CA1	5	459.00	459.25	.25	.001	.003	.012	-2.
CA1	6	459.25	459.52	.27	.001	.003	.006	-2.
CA1	7	459.52	459.76	.24	.002	.003	.005	-2.
CA1	8	459.76	460.00	.24	.001	.004	.006	-2.
CA1	9	460.14	460.36	.22	.005	.020	.005	-2.
T1	10	460.36	460.57	.21	.007	.060	.150	-2.
T1	11	460.57	460.80	.23	.005	.280	.920	2.
T1	12	460.80	461.00	.20	.004	.220	.080	2.
T1	13	461.00	461.22	.22	.004	.120	.280	2.
T1	14	461.22	461.50	.28	.005	.160	.640	3.
T1	15	461.50	461.74	.24	.005	.200	.760	4.
T1	16	461.74	462.00	.26	.007	.220	1.200	5.
T1	17	462.00	462.26	.26	.007	.290	1.100	4.
T1	18	462.26	462.50	.24	.007	.470	.850	4.
T1	19	462.50	462.73	.23	.012	.480	1.300	6.
T1	20	462.73	462.93	.20	.022	.700	1.800	9.
T1	21	462.93	463.25	.32	.060	1.100	2.000	10.
S1	22	463.25	463.51	.26	.240	.075	.050	4.
S1	23	463.51	463.75	.24	.150	.008	.009	3.
S1	24	463.75	464.00	.25	.110	.005	.006	2.

SR 7		LOWER	LIMITING	VALUES	.001	.001	.001	2.	5.	5.	0.00	0.00
					Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Ba	As
CA1	1	542.00	542.50	.50	.004	.003	.005	-2.	0.	0.	0.00	0.00
CA1	2	542.50	543.00	.50	.004	.003	.012	-2.	0.	0.	0.00	0.00
CA1	3	543.00	543.50	.50	.004	.003	.015	-2.	0.	0.	0.00	0.00
CA1	4	543.50	544.00	.50	.005	.030	.022	-2.	0.	0.	0.00	0.00
CA1	5	544.00	544.50	.50	.008	.044	.025	-2.	0.	0.	0.00	0.00
T1	6	544.50	545.00	.50	.007	.029	.037	-2.	0.	0.	0.00	0.00
T1	7	545.00	545.50	.50	.008	.220	.210	4.	0.	0.	0.00	0.00
T1	8	545.50	546.00	.50	.022	.340	.460	-2.	0.	0.	0.00	0.00
T1	9	546.00	546.43	.43	.050	.650	.710	-2.	80.	20.	100.00	30.00
T1	10	546.43	546.85	.42	.370	.800	.065	10.	95.	65.	120.00	100.00
S1	11	546.85	547.00	.15	.370	.040	.018	6.	40.	90.	390.00	370.00
S1	12	547.00	547.42	.42	.046	.005	.007	-2.	20.	20.	1600.00	25.00
S1	13	547.42	547.77	.35	.090	.005	.016	2.	0.	0.	0.00	0.00
S1	14	547.77	548.00	.23	.064	.006	.011	5.	0.	0.	0.00	0.00

SR 8		LOWER LIMITING VALUES			.001	.001	.001	2.	5.	5.	0.00
					Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	As
CA1	1	393.00	393.50	.50	.008	.001	.004	-2.	50.	15.	30.00
CA1	2	393.50	394.00	.50	.004	.002	.005	-2.	55.	25.	50.00
CA1	3	394.00	394.50	.50	.004	.005	.004	-2.	60.	20.	4.90
T1	4	394.50	395.00	.50	.001	.003	.001	-2.	35.	15.	20.00
T1	5	395.00	395.50	.50	.002	.030	.080	-2.	35.	20.	4.90
T1	6	395.50	396.00	.50	.002	.026	.047	-2.	40.	15.	4.90
T1	7	396.00	396.30	.30	.002	.027	.062	-2.	40.	15.	5.00
T1	8	396.30	396.60	.30	.003	.047	.200	-2.	45.	20.	40.00
T1	9	396.60	397.00	.40	.630	.220	.390	20.	130.	230.	400.00
S1	10	397.00	397.17	.17	.890	.009	.100	15.	60.	90.	2900.00
S1	11	397.17	397.65	.48	.027	.003	.007	-2.	15.	20.	160.00
S1	12	397.65	398.00	.35	.058	.003	.010	4.	10.	20.	290.00
S1	13	398.00	398.50	.50	.010	.002	.002	-2.	10.	20.	100.00
S1	14	398.50	399.00	.50	.025	.002	.005	-2.	15.	15.	180.00
S1	15	399.00	399.45	.45	.011	.001	.004	-2.	10.	10.	130.00
S1	16	399.45	400.00	.55	.010	.001	.003	-2.	10.	5.	70.00
S1	17	400.00	400.55	.55	.010	.001	.002	-2.	15.	5.	100.00
S1	18	400.55	401.00	.45	.001	.001	-.000	-2.	10.	10.	50.00
S1	19	401.00	401.48	.48	-.000	-.000	-.000	-2.	20.	10.	20.00
S1	20	401.48	402.00	.52	.001	-.000	.001	-2.	20.	20.	4.90
S1	21	402.00	402.55	.55	-.000	-.000	-.000	-2.	10.	5.	4.90
RO	22	402.55	403.00	.45	-.000	-.000	.001	-2.	15.	5.	10.00

SR 9		LOWER LIMITING VALUES			.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	367.00	367.56	.56	.010	.020	.010	5.
CA1	2	367.56	368.00	.44	.010	.010	.020	5.
T1	3	368.00	368.44	.44	.020	.020	.030	5.
T1	4	368.44	368.78	.34	.010	.500	1.100	5.
T1	5	368.78	369.00	.22	.010	.580	.140	5.
T1	6	369.00	369.35	.35	.010	.750	.740	5.
T1	7	369.35	369.65	.30	.010	.860	1.100	5.
T1	8	369.65	370.00	.35	.010	.490	.420	5.
T1	9	370.00	370.28	.28	.020	.580	1.600	5.
T1	10	370.28	370.63	.35	.040	.960	2.000	5.
T1	11	370.63	371.00	.37	.190	.660	.310	5.
T1	12	371.00	371.31	.31	1.100	.040	.030	5.
T1	13	371.31	371.62	.31	1.100	.010	.090	20.
T1	14	371.62	371.90	.28	1.600	.010	.240	35.
S1	15	371.90	372.40	.50	.510	.010	.070	15.
S1	16	372.40	372.75	.35	.040	.010	.010	5.
S1	17	372.75	373.00	.25	.021	-.000	.003	-2.
S1	18	373.00	373.25	.25	.096	.002	.013	3.
S1	19	373.25	373.50	.25	.069	.002	.010	5.
S1	20	373.50	373.75	.25	.074	.002	.010	2.
S1	21	373.75	374.00	.25	.053	.001	.008	2.

SR 10		LOWER	LIMITING	VALUES	.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
T1	1	462.00	462.60	.60	.030	.004	.003	-2.
T1	2	462.60	463.00	.40	.067	.005	.003	-2.
T1	3	463.00	463.30	.30	.140	.004	.015	4.
T1	4	463.30	463.55	.25	.200	.003	.025	5.
S1	5	463.55	463.80	.25	.260	.003	.033	10.
S1	6	463.80	464.00	.20	.280	.003	.035	10.
S1	7	464.00	464.50	.50	.260	.002	.030	10.
RO	8	464.50	465.00	.50	.063	.002	.009	3.
RO	9	465.00	465.50	.50	.120	.006	.017	6.
RO	10	465.50	466.00	.50	.220	.004	.030	10.
RO	11	466.00	466.50	.50	.120	.006	.009	-2.
RO	12	466.50	467.00	.50	.042	.001	.001	-2.
RO	13	467.00	467.26	.26	.018	-.000	.001	-2.
RO	14	467.26	467.43	.17	.002	-.000	.001	-2.

SR 11		LOWER	LIMITING	VALUES	.001	.001	.001	2.
					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	481.00	481.50	.50	.003	.001	.005	-2.
CA1	2	481.50	482.00	.50	.003	.002	.007	-2.
CA1	3	482.00	482.50	.50	.007	.001	.006	-2.
CA1	4	482.50	483.00	.50	.002	.002	.008	-2.
CA1	5	483.00	483.50	.50	.003	.003	.011	-2.
CA1	6	483.50	484.00	.50	.006	.027	.025	-2.
CA1	7	484.00	484.50	.50	.011	.005	.004	-2.
T1	8	484.50	485.00	.50	.006	.073	.084	-2.
T1	9	485.00	485.35	.35	.004	.160	.190	-2.
T1	10	485.35	485.72	.37	.006	.070	1.900	3.
T1	11	485.72	486.00	.28	.005	.140	1.200	3.
T1	12	486.00	486.37	.37	.004	.069	.090	2.
T1	13	486.37	486.74	.37	.004	.077	.160	-2.
T1	14	486.74	487.00	.26	.004	.100	.330	2.
T1	15	487.00	487.18	.18	.081	.270	.310	3.
T1	16	487.18	487.35	.17	.250	3.000	.410	20.
T1	17	487.35	487.47	.12	1.700	.055	.028	55.
S1	18	487.47	487.67	.20	1.100	.010	.110	30.
S1	19	487.67	488.00	.33	.420	.015	.045	14.
S1	20	488.00	488.37	.37	.350	.004	.042	11.
S1	21	488.37	488.78	.41	.270	.003	.035	9.
S1	22	488.78	489.00	.22	.120	.005	.017	4.
S1	23	489.00	489.50	.50	.065	.003	.010	2.
S1	24	489.50	490.00	.50	.120	.004	.016	3.
S1	25	490.00	490.50	.50	.009	.001	.002	-2.
S1	26	490.50	491.00	.50	.003	-.000	.002	-2.
S1	27	491.00	491.50	.50	.002	-.000	.002	-2.
S1	28	491.50	492.00	.50	.001	-.000	.002	-2.
S1	29	492.00	492.50	.50	-.000	-.000	.002	-2.

RO 18 LOWER LIMITING VALUES .001 .001 .001 2. 5. 5. 2. 0. 10. 5. 0.00 .00

					Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mo	Cr	V	Sn	Ba	Au
CA1	1	208.00	208.50	.50	022	.110	.095	-2.	40.	-5.	2.	50.	130.	5.		5.00
CA1	2	208.50	209.00	.50	.042	.150	.310	-2.	35.	8.	4.	30.	140.	-5.		10.00
T1	3	209.00	209.50	.50	.013	.520	1.100	-2.	40.	5.	75.	60.	230.	7.		10.00
T1	4	209.50	210.00	.50	.900	.700	1.100	20.	100.	30.	190.	80.	550.	11.		10.00
T1	5	210.00	210.35	.35	7.200	.030	.023	70.	150.	130.	180.	80.	650.	-5.		10.00
T1	6	210.35	210.53	.18	8.600	.008	.009	50.	330.	325.	170.	120.	1270.	15.		65.00
S1	7	210.53	210.76	.23	3.300	.005	.028	35.	65.	130.	20.	80.	740.	20.		260.00
S1	8	210.76	211.00	.24	.300	.002	.006	-2.	5.	160.	2.	50.	50.	15		200.00
S1	9	211.00	211.50	.50	.280	.010	.016	-2.	5.	12.	4.	60.	50.	25.		75.00
S1	10	211.50	212.00	.50	.047	.001	.001	-2.	5.	5.	-2.	75.	25.	20.		40.00
S1	11	212.00	212.50	.50	.070	-.000	.004	-2.	5.	-5.	-2.	100.	30.	30.		25.00
S1	12	212.50	213.00	.50	.045	.001	.035	-2.	5.	-5.	-2.	60.	25.	30.		15.00
S1	13	213.00	213.50	.50	.019	.001	.004	-2.	5.	-5.	-2.	30.	25.	40.		10.00
S1	14	213.50	214.00	.50	.033	.002	.004	-2.	10.	-5.	-2.	40.	20.	80.		20.00
S1	15	214.00	214.50	.50	.025	.001	.001	-2.	20.	5.	0.	85.	10.	-5.	660.00	40.00
S1	16	214.50	215.00	.50	.220	.001	-.000	6.	20.	5.	0.	70.	20.	-5.	520.00	35.00
S1	17	215.00	215.50	.50	.006	-.000	-.000	-2.	20.	5.	0.	80.	20.	-5.	370.00	20.00
S1	18	215.50	216.00	.50	.002	-.000	.001	-2.	20.	5.	0.	70.	10.	-5.	480.00	20.00
S1	19	216.00	216.50	.50	.002	.001	.001	-2.	25.	5.	0.	90.	10.	-5.	600.00	50.00
S1	20	216.50	217.00	.50	.001	-.000	.001	-2.	25.	5.	0.	120.	30.	-5.	860.00	15.00
S1	21	217.00	217.50	.50	.002	-.000	-.000	-2.	20	5.	0.	100.	35.	-5.	200.00	30.00
S1	22	217.50	218.00	.50	.002	.001	.001	-2.	25.	5.	0.	65.	35.	-5.	260.00	30.00
S1	23	218.00	218.50	.50	.001	-.000	.002	-2.	25.	5.	0.	85.	35.	-5.	380.00	15.00
S1	24	218.50	219.00	.50	.001	-.000	.002	-2.	25.	5.	0.	60.	40	-5.	420.00	15.00

RO 19 LOWER LIMITING VALUES .001 .001 .001 2. 5. 5. 2. 0. 10. 5. 0.00

					Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mo	Cr	V	Sn	Au
CA1	1	336.00	336.45	.45	.007	.042	.022	10.	65.	10.	-2.	65.	90.	330.	25.00
CA1	2	336.45	337.00	.55	.006	.024	.007	10.	65.	15.	2.	70.	90.	140.	10.00
CA1	3	337.00	337.50	.50	.005	.050	.004	10.	75.	20.	2.	75.	130.	1650.	15.00
T1	4	337.50	338.00	.50	.005	.037	.097	10.	75.	15.	8.	65.	150.	190.	5.00
T1	5	338.00	338.50	.50	.004	.160	1.000	10.	70.	10.	60.	100.	220.	80.	5.00
T1	6	338.50	339.00	.50	.015	.490	1.700	10.	40.	10.	180.	60.	220.	40.	5.00
T1	7	339.00	339.50	.50	.035	1.500	2.300	10.	60.	30.	180.	50.	200.	15.	20.00
T1	8	339.50	339.71	.21	7.600	.045	.060	80.	250.	600.	700.	130.	600.	40.	230.00
S1	9	339.71	340.00	.29	2.500	.015	.032	30.	70.	100.	100.	15.	50.	50.	280.00
S1	10	340.00	340.50	.50	1.500	.003	.018	15.	5.	-5.	2.	15.	20.	55.	50.00
S1	11	340.50	341.00	.50	1.000	.003	.006	10.	-5.	-5.	-2.	10.	15.	40.	20.00
S1	12	341.00	341.50	.50	1.300	.002	.004	10.	-5.	-5.	-2.	10.	15.	20.	20.00
S1	13	341.50	342.00	.50	.430	.001	.003	10.	-5.	-5.	-2.	15.	20.	15.	20.00
S1	14	342.00	342.50	.50	0.000	0.000	0.000	0.	-5.	-5.	-2.	40.	40.	10.	10.00
S1	15	342.50	343.00	.50	0.000	0.000	0.000	0.	-5.	-5.	-2.	30.	25.	15.	15.00
S1	16	343.00	343.50	.50	0.000	0.000	0.000	0.	-5.	-5.	-2.	30.	25.	10.	10.00
S1	17	343.50	344.00	.50	0.000	0.000	0.000	0.	-5.	-5.	-2.	25.	15.	25.	10.00

RO 20 LOWER LIMITING VALUES .001 .001 .001 2.

					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	373.00	373.50	.50	.010	.017	.006	-2.
CA1	2	373.50	374.00	.50	.006	.015	.005	-2.
CA1	3	374.00	374.50	.50	.006	.028	.006	-2.
CA1	4	374.50	375.00	.50	.004	.038	.005	-2.
CA1	5	375.00	375.50	.50	.012	.016	.003	-2.
CA1	6	375.50	376.00	.50	.007	.018	.005	-2.
CA1	7	376.00	376.50	.50	.005	.027	.007	-2.
T1	8	376.50	377.00	.50	.007	.100	.500	2.
T1	9	377.00	377.22	.22	.005	.230	.890	2.
T1	10	377.22	377.53	.31	.022	.460	1.300	3.
T1	11	377.53	378.00	.47	1.100	.095	.430	39.
S1	12	378.00	378.22	.22	1.100	.005	.022	16.
S1	13	378.22	378.68	.46	.180	.003	.006	3.
S1	14	378.68	379.00	.32	.021	.002	.005	-2.
S1	15	379.00	379.50	.50	.018	.002	.003	-2.
S1	16	379.50	380.00	.50	.025	.002	.003	-2.
S1	17	380.00	380.50	.50	.029	.003	.007	-2.
S1	18	380.50	381.00	.50	.005	.003	.002	-2.

RO 21 LOWER LIMITING VALUES .001 .001 .001 2. 0.00 0.00

					Cu	Pb	Zn	Ag	Fetot	Fe^{2+}
CA1	1	196.00	196.50	.50	.006	.052	.010	-2.	2.96	2.07
CA1	2	196.50	197.00	.50	.006	.073	.065	-2.	4.82	1.51
CA1	3	197.00	197.50	.50	.013	.100	.097	2.	3.57	1.60
T1	4	197.50	198.00	.50	.006	.300	1.100	2.	2.62	1.51
T1	5	198.00	198.50	.50	.019	.720	1.800	3.	1.02	1.50
T1	6	198.50	199.00	.50	.046	2.000	2.300	6.	1.34	1.04
T1	7	199.00	199.18	.18	.940	3.700	.100	10.	2.90	1.65
S1	8	199.18	199.40	.22	.490	.064	.051	6.	1.51	.85
S1	9	199.40	200.00	.60	.220	.014	.022	-2.	.78	.42
S1	10	200.00	200.50	.50	.100	.006	.004	-2.	.78	.39
S1	11	200.50	201.00	.50	.270	.004	.013	-2.	.72	.56

RO 22 LOWER LIMITING VALUES .001 .001 .001 2.

					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	436.26	436.76	.50	.670	.005	.004	10.
CA1	2	436.76	437.26	.50	.700	.005	.003	9.
CA1	3	437.26	437.76	.50	.590	.005	.005	8.
CA1	4	437.76	438.26	.50	1.000	.004	.005	7.
CA1	5	438.26	438.76	.50	.370	.004	.004	-2.
T1	6	438.76	438.90	.14	10.500	.005	.008	160.
S1	7	438.90	438.95	.05	4.100	.004	.003	58.
S1	8	438.95	439.10	.15	1.500	.002	.002	20.
S1	9	439.10	439.40	.30	.540	.003	.004	6.
S1	10	439.40	439.90	.50	.009	.002	.002	-2.
S1	11	439.90	440.40	.50	.150	.001	.001	-2.
S1	12	440.40	440.90	.50	.006	.002	.002	-2.
S1	13	440.90	441.40	.50	.004	.002	.001	-2.
S1	14	441.40	441.90	.50	.012	.001	.002	-2.
S1	15	441.90	442.40	.50	.009	.002	.002	-2.
S1	16	442.40	442.90	.50	.004	.002	.003	-2.
S1	17	442.90	443.40	.50	.003	.002	.003	-2.
S1	18	443.40	443.90	.50	.004	.002	.002	-2.

RO 23 LOWER LIMITING VALUES .001 .001 .001 2.

					Cu	Pb	Zn	Ag
CA1	1	364.00	364.55	.55	.140	.110	.005	2.
CA1	2	364.55	365.00	.45	.170	.007	.010	2.
CA1	3	365.00	365.48	.48	.120	.005	.006	2.
CA1	4	365.48	366.00	.52	2.000	.003	.005	21.
T1	5	366.00	366.45	.45	.880	.005	.003	17.
T1	6	366.45	367.00	.55	3.200	.006	.003	78.
T1	7	367.00	367.49	.49	5.000	.005	.004	80.
T1	8	367.49	367.58	.09	.970	.006	.002	12.
S1	9	367.58	368.00	.42	.079	.002	.001	-2.
S1	10	368.00	368.50	.50	.031	.001	.001	-2.
S1	11	368.50	369.00	.50	.022	.002	.001	-2.

Lebenslauf

Name:	Claus Schumacher
geboren:	11.8.1954
Geburtsort:	Braunschweig
Eltern:	Gerhard und Marga Schumacher, geb. Eichler
Familienstand:	verheiratet mit Gabriela Schumacher, geb. Richter, zwei Kinder

Ausbildung

1960 - 1964	Volksschule Streitberg, Braunschweig
1964 - 1970	Realschule John-F.-Kennedy-Platz, Braunschweig Abschluß: Mittlere Reife
1970 - 1973	Gymnasium Lessing Schule, Braunschweig Abschluß: Abitur, 8.5.1973
1973 - 1977	Studium der Geologie und Paläontologie an der TU Braunschweig
12.8.1977	Studienabschluß: Diplom Geologe
1977 - 1978	Studium der Mineralexploration an der Royal School of Mines, Imperial College, London UK
22.12.1978	Diploma of Membership of the Imperial College
31. 1.1979	Master of Science (Geology)

Tätigkeiten

1.9.1978- 31.9.1980	Preussag AG Metall, Goslar,als Explorationsgeologe
seit 1.10.1980	St. Joe Explorations GmbH, Projektleiter des Tiefbohrprojektes Kupferschiefer